



Institut de Recherches du Coton et des Textiles exotiques

*Centre de Recherches
CIRAD de Montpellier*

METHODOLOGIE DE L'EXPERIMENTATION PHYTOSANITAIRE EN CULTURE COTONNIERE

(2^{ème} Edition revue et corrigée, Juillet 89)

**Jean CAUQUIL
René COUILLOUD
Benoît GIRARDOT
Eric GOZE
Grégoire JOUVE
Maurice VAISSAYRE**

L'idée de réaliser un document sur la méthodologie de l'expérimentation phytosanitaire en culture cotonnière n'est pas nouvelle mais cela présentait de telles difficultés que l'entreprise fut longtemps retardée.

La nécessité de définir une conception commune de travail pour tout le réseau I.R.C.T. nous a amenés à réaliser ce dossier. Il était également urgent de mettre à la disposition des Chercheurs débutants de larges règles de travail.

Cet ensemble a été réalisé en trois temps : en 1986 - 1987 notre collègue Grégoire JOUVE a rédigé un premier texte (seconde partie de ce document), puis en mars 1988 la réunion à Montpellier d'une dizaine de spécialistes de l'I.R.C.T. a permis de faire le point des différents thèmes de la première partie de ce document et de diffuser à 150 exemplaires une première édition. Cette deuxième édition a été revue et corrigée par B. GIRARDOT et E. GOZE en tenant compte des remarques faites sur la première.

La somme que nous vous présentons est donc collégiale : tout ce qui y est exprimé résulte d'un sage consensus. C'est en outre un texte évolutif pouvant être critiqué et surtout amélioré par chacun d'entre vous.

Seul le chapitre " Collecte et présentation des données et résultats " n'est pas optionnel. En effet la Direction de l'I.R.C.T. considère comme indispensable de présenter les comptes-rendus annuels d'activités d'une façon uniforme et informatisée.

Montpellier le 7/7/89

J. CAUQUIL.

Directeur de la Division Phytosanitaire

S O M M A I R E

PREMIERE PARTIE

Pages

| | |
|--|---|
| GENERALITES SUR LA REALISATION DES ESSAIS..... | 3 |
| (R. COUILLOUD) | |

- mise en place
- schémas et dispositifs statistiques

| | |
|------------------------------------|---|
| METHODOLOGIE DES OBSERVATIONS..... | 7 |
| (P. SILVIE) | |

- observations liées à la plante
- observations de dégâts de ravageurs ou de maladies
- observations sur les populations de ravageurs

| | |
|--|----|
| LES ESSAIS DESTINES A EVALUER LES NUISANCES..... | 13 |
| (B. GIRARDOT) | |

- les essais à trois niveaux de protection
- les parcelles filtres

| | |
|---|----|
| LES ETAPES DE SELECTION D'UNE MOLECULE..... | 19 |
| (G. JOUVE) | |

| | |
|--|----|
| COMPARAISON DE TECHNIQUES ET DE PROGRAMMES D'APPLICATION.. | 21 |
| (G. JOUVE) | |

| | |
|--|----|
| COLLECTE ET PRESENTATION DES DONNEES ET RESULTATS..... | 23 |
| (M. VAISSAYRE) | |

- rédaction du rapport
- présentation des résultats

| | |
|-----------------------------|----|
| BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE..... | 31 |
|-----------------------------|----|

DEUXIEME PARTIE

REALISATION DES APPLICATIONS INSECTICIDES..... 35 (G. JOUVE)

- * méthodes d'application
- * pulvérisateurs et matériel expérimental
- * réalisation des essais

DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX DES ESSAIS PHYTOSANITAIRES SUR COTON.....45 (G. JOUVE)

- * essais en blocs de Fischer
- * autres dispositifs

ANALYSES STATISTIQUES.....57 (G. JOUVE)

- * seuils, CV, risques
- * transformations

PREMIERE PARTIE

**GENERALITES SUR LA REALISATION
DES ESSAIS
(R. COUILLOUD).**

La mise en place d'un essai est faite pour répondre à un objectif précis. Les objectifs sont de deux sortes :

- étude de la biocénose
- étude des moyens de lutte

L'objectif initialement fixé et justifiant la mise en place d'un essai implique qu'on s'y tienne, même si, au cours de la réalisation de l'essai, des conditions annexes entraînent une modification du protocole.

La conception d'un essai doit tenir compte des conditions du milieu et des moyens dont on dispose.

D'une façon générale, les essais sont réalisés dans trois types de situation :

- sur station : milieu contrôlé et homogène avec les moyens appropriés
- sur points d'appui régionalisés : milieu contrôlé représentatif d'une écorégion avec des moyens moins performants
- en milieu réel (champs de cultivateurs) : il s'agit, dans ce cas, essentiellement de tests de démonstration ou de confirmation.

MISE EN PLACE

- choix du terrain : homogène, plat (éviter les stagnations d'eau, les termitières, les risques d'érosion). La plupart des essais phytosanitaires peuvent être mis en place après la levée, ce qui permet d'effectuer un choix plus judicieux de l'emplacement.
- localisation : les essais portant sur l'étude de la biocénose seront implantés en bordure afin de limiter les interactions des traitements des essais adjacents.

- techniques culturales : celles-ci doivent, en milieu contrôlé, concourir à l'homogénéisation de l'ensemble des essais. La préparation du sol, la date de semis, la fumure et l'entretien de la culture doivent assurer un développement et une production correcte (rendement 1,5 t/ha ou plus). Dans le cas d'essais à caractère biologique, le décalage de la date de semis ou des changements de techniques culturales peuvent être adaptés en vue d'obtenir une modification recherchée du facies parasitaire.

SCHEMAS ET DISPOSITIFS STATISTIQUES

Dans les essais phytosanitaires, les applications insecticides sont à réaliser avec un appareil à dos équipé d'une rampe, en général, horizontale à 4 buses, traitant 2 lignes à chaque passage (100 l/ha) ou, dans certains cas, verticales à 4 buses traitant 2 demi lignes à chaque passage (200 l/ha). Ce type d'application oblige à travailler avec des formulations CE (concentré émulsionnable).

Le démariage à un plant doit être la règle pour les essais phytosanitaires.

LES PARCELLES

- cas de l'étude de la biocénose : ce sont les parcelles à " trois niveaux ", les parcelles " filtres ".

Les parcelles doivent nécessairement être d'une grande surface même si cela se fait au détriment du nombre de répétitions : le minimum sera de 20 lignes de 20 m de longueur on adoptera un dispositif " en escalier " que l'on s'efforcera de doubler.

- cas de l'étude des moyens de lutte : la plupart des essais phytosanitaires.

Dans la majorité des cas, on cherche à mettre en évidence des différences statistiquement significatives d'où la nécessité d'adapter le dispositif statistique et le nombre de répétitions à la variabilité du milieu. C'est donc la connaissance du milieu qui va guider le choix du dispositif et du nombre de répétitions.

Les dimensions des parcelles élémentaires sont elles-mêmes fonction du ravageur étudié :

- désinfection des semences : 3 lignes de 20 m
- étude d'acariens : 10 lignes (dont 8 traitées) de 10m
- étude des chenilles: 10 à 12 lignes (dont 8 traitées) de 15 à 20 m.

A l'intérieur d'un bloc de culture, les parcelles élémentaires doivent être contigues, chacune d'entre elles étant constituée d'un noyau traité et de lignes latérales non traitées.

LES THEMES D'ETUDE

- désinfection des semences.
- traitement du sol.
- matières actives (m.a) :
 - * comparaison de différentes m.a., utilisées seules sur les complexes parasitaires
 - * étude d'une m.a. sur un ravageur donné
 - * essai de doses de m.a.,
 - * essai d'associations de m.a.,
- programmes de protection :
 - * nombre d'applications,
 - * fréquence des applications,
 - * dose par application,
 - * fréquence x dose,
 - * choix des m.a. pour les différentes applications,
 - * date des applications, déclenchement et arrêt,
 - * modalités des applications.
- techniques d'application

LES DISPOSITIFS STATISTIQUES

Les différents dispositifs sont décrits dans la seconde partie de ce document (p. 45),

Le choix de l'un de ces dispositifs et du nombre de répétitions à mettre en place résultera de la démarche suivante :

- ¹ - détermination du nombre de répétitions en fonction de la précision souhaitée,
- ² - choix du dispositif en fonction des contraintes du terrain (forme d'hétérogénéité) et ajustement du nombre de répétitions pour certains dispositifs,
- ³ - randomisation de la répartition parcellaire.

| |
|---|
| <p>METHODOLOGIE DES OBSERVATIONS</p> <p>(P. SILVIE)</p> |
|---|

OBSERVATIONS LIEES A LA PLANTE

1. DENSITE

Cette observation est réalisée essentiellement dans le cas d'essais de traitements de semences, mais peut permettre de contrôler la qualité (homogénéité) de tout autre essai. Lorsque le nombre de graines par poquet est fixe (semis à poquets ouverts) on compte le nombre de poquets levés par ligne, le nombre de plants par poquet.

2. HAUTEUR

La mesure de la hauteur des plants peut être faite avant le début des traitements afin d'atténuer une certaine hétérogénéité (analyse de covariance).

En fin de campagne, cette observation peut permettre de quantifier des différences dues aux traitements.

3. FLORAISON

Elle est généralement pratiquée dans les essais à plusieurs niveaux de protection et doit être reliée à l'observation des organes en place. On compte le nombre de fleurs du jour présentes sur 5 lignes de 20 m, pour chaque parcelle élémentaire (P.E.) et 3 fois par semaine. Le nombre total de fleurs obtenu pendant la période d'observation est calculé en multipliant le cumul des fleurs comptées par $7/3$.

4. RECOLTE

Plusieurs récoltes peuvent être réalisées et la première récolte pourra se faire à 50% d'ouverture des capsules. Les extrémités des lignes de récolte sont éliminées pour éviter les effets de bordure.

De manière générale, lorsque la parcelle élémentaire comporte 8 lignes traitées, la récolte se fait sur les 4 lignes centrales.

OBSERVATIONS DE DEGATS DE RAVAGEURS (OU DE MALADIE)

Selon les ravageurs, les dégâts portent sur l'appareil végétatif ou sur les organes fructifères. Dans certains cas, un ravageur peut provoquer des dégâts sur les deux parties de la plante. Il est important d'essayer de bien caractériser les types de dégâts observés.

1. DEGATS SUR L'APPAREIL VEGETATIF

Ils sont marqués par :

- des écimages
- la déformation des plants (plants borgnes,...)
- des symptômes foliaires : enroulement des feuilles, symptômes d'acariose, jaunissement des bords des limbes, trous dans le parenchyme, maladies.

Dans ces cas, le pourcentage de feuilles ou de plants présentant le dégât typique est calculé, après observation de plusieurs lignes de 20 m.

2. DEGATS SUR LES ORGANES FRUCTIFERES (boutons floraux et capsules)

Ils sont dénombrés de 3 façons distinctes, qui peuvent être reliées entre elles : abscission, analyse sanitaire des capsules vertes (ASV), analyse sanitaire des capsules à maturité (ASM).

2. 1. Abscission des organes fructifères

Le nombre de boutons floraux troués (abscission parasitaire préflorale) et de capsules trouées (abscission parasitaire postflorale) est relevé sur 1 ou plusieurs interlignes de 20 m par P.E. L'observation est faite 3 fois par semaine. Dans le cas des parcelles d'observation, on relève également le nombre de boutons et de capsules non trouées. Il est judicieux d'éliminer les extrémités des parcelles et de marquer l'interligne à l'aide de 2 piquets.

2. 2. Analyse sanitaire des capsules vertes (ASV)

Cette observation est importante à réaliser dans le cas des zones où la présence de chenilles endocarpiques est remarquable. Elle est délicate car elle nécessite un prélèvement au champ et une analyse au laboratoire. En fonction des renseignements que l'on désire obtenir, plusieurs méthodes de prélèvements peuvent être proposées dont certaines sont coûteuses en temps.

- on peut prélever 100 capsules vertes sur 1 ligne de 20 m/P.E., 1 fois par semaine, le plus bas possible du plant. Ces capsules seront ouvertes au laboratoire afin de noter les attaques par chenilles endophages.
- on peut récolter 1 fois par semaine tous les organes de 10 plants successifs par P.E. et les trier au laboratoire.

Lorsque des chenilles exocarpiques sont présentes, on pourra récolter et compter les capsules trouées sur 1 ligne de 20 m par P.E., 1 fois par semaine.

Dans tous les cas, le premier prélèvement commence vers le 90^{ème} jour après la levée et on effectue 5 prélèvements au minimum.

REMARQUE : les dégâts dûs aux insectes piqueurs ne sont pas faciles à déterminer. Lorsque des piqûres caractéristiques sont visibles, à l'extérieur des capsules (Helopeltis) ou à l'intérieur (cals) un comptage pourra être réalisé, soit lors de l'ASV, soit à la suite d'un prélèvement spécial de capsules de moins de 30 jours (utilisation d'un carton troué de calibre connu).

2. 3. Analyse sanitaire à maturité (ASM)

Cette observation permet d'avoir une bonne information sur l'état sanitaire des organes lors de la (ou des) récoltes réalisées sur les lignes de floraison, elle permet d'estimer l'abscission postflorale. Comme dans le cas de la récolte, il est recommandé d'éliminer les extrémités des lignes (2,5 m par exemple). Récolte et ASM pourront ainsi être faites sur 15 m de longueur.

La méthode CADOU est employée. A la première récolte (50% d'ouverture), les capsules ouvertes (coton-graine + carpelles) sont prélevées à l'aide d'un sécateur. Les capsules vertes situées en haut des plants sont laissées et seront prélevées lors de la récolte finale. Ainsi, la quasi totalité des capsules sera récoltée au stade " capsules déhiscentes ". Ces capsules peuvent être conservées dans des paniers ou sur des claies, lorsque cela est possible, ce qui permet une analyse ultérieure.

Le tri au laboratoire permet de distinguer et de compter :

- les capsules saines
- les capsules trouées, de façon interne (cloison interloges) ou externe
- les capsules pourries, avec ou sans piqûres (cals)
- les capsules momifiées

Il est ensuite possible de séparer et de peser :

- le coton-graine blanc provenant des capsules saines
- le coton-graine blanc provenant des capsules attaquées
- le coton-graine jaune provenant des capsules attaquées.

Un taux de coton-jaune peut alors être calculé ainsi que le poids moyen capsulaire total (somme des poids de coton-graine divisée par le nombre total de capsules) et le poids moyen des capsules saines (pmcs) à partir du coton-graine des capsules saines uniquement.

OBSERVATIONS SUR LES POPULATIONS DE RAVAGEURS

Les méthodes présentées sont rapportées à la parcelle élémentaire.

1. THYSANOPTERES

Un prélèvement de x feuilles ou plantules est réalisé et le matériel est emmené au laboratoire en sacs ou sachets.

Les insectes sont récupérés après mise en place du végétal dans l'appareil de Berlèse (les vapeurs d'essence de térébenthine favorisent la récupération).

2. ACARIENS

Le comptage se fait une fois par semaine sur 10 feuilles terminales bien développées. Une feuille est observée par plant et les 10 plants sont choisis par hasard sur les 4 lignes centrales. Le matériel est observé au laboratoire.

Pour chaque feuille, on compte les formes mobiles présentes dans un champ de la loupe " ROUSSEL-UCLAF ", un grade est donné :

- * 0 = aucune forme mobile
- * 1 = 1 à 3 formes mobiles
- * 2 = 3 à 9 formes mobiles
- * 3 = 10 formes mobiles

Le grade moyen est analysé, après avoir multiplié le nombre de feuilles de grade 2 par 3 et celui de grade 3 par 9.

3. PUCERONS

Pour des infestations moyennes, on utilise 20 cotonniers ou 4 fois 5 cotonniers successifs. 5 feuilles terminales bien développées sont observées par plant et on note la présence ou l'absence d'au moins un puceron aptère. Cette observation est faite au champ.

4. ALEURODES

Seuls les stades fixés sont pris en compte chaque semaine, une feuille est observée sur 10 plants. Elle est située sur la 6^e branche en partant du haut du plant, près de l'axe principal. La présence ou l'absence de formes fixées est notée après l'observation d'un champ de loupe " ROUSSEL-UCLAF ". Le pourcentage de feuilles infestées est analysé.

5. JASSIDES

Chaque semaine, 5 feuilles du bouquet terminal sont observées sur 20 plants. Le nombre de larves présentes est relevé.

6. CHENILLES

la méthode de dénombrement est particulière à chaque espèce et sera précisée dans le chapitre sur " les parcelles d'observation ". D'une manière générale, le comptage des chenilles carpophages dans les essais ne se justifient pas sauf cas particulier.

**LES ESSAIS DESTINES A EVALUER
LES NUISANCES
(B. GIRARDOT)**

LES ESSAIS A TROIS NIVEAUX DE PROTECTION

* essais devant être :

- généralisés
- régionalisés
- pérennisés

* ne pas confondre parcelles filtres et essai à trois niveaux (c'est-à-dire que la parcelle non traitée ne reçoit aucun traitement).

But :

* Evaluation globale des nuisances dues aux ravageurs.

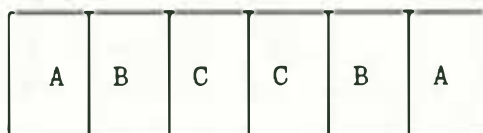
* Estimation du potentiel de production de la culture et appréciation de l'efficacité du programme recommandé.

* Possibilités d'observations sur le complexe parasitaire, son évolution et son incidence : ces observations peuvent être complétées par une étude physiologique de la plante (cycle de fructification, etc...).

Réalisation :

- Mise en place

* en escalier double de préférence selon le plan suivant ;



ou " replié " si le terrain disponible rend impossible l'implantation du dispositif ci-dessus.

* les parcelles à trois niveaux sont implantées en bordure de point d'appui ou de station (pour éviter un effet protecteur des autres essais).

* les parcelles non traitées (A) sont placées à l'extérieur.

* la taille minimum des parcelles élémentaires est de 20 lignes de 20 mètres.

* les techniques culturales et la fumure sont celles qui sont normalement utilisées. On veillera à l'entretien, une interaction protection-enherbement étant possible.

Programme de traitement :

* les applications sont réalisées en EC à la rampe (l'UBV est à éviter à cause de la dérive).

* non traité (NT = parcelles A) : ne reçoit aucune protection insecticide (pas d'exception).

* protection standard (PS = parcelles B) : la protection vulgarisée est appliquée. Cependant si la protection vulgarisée n'est pas la protection qui est recommandée, il est possible de mettre en place quatre niveaux. Dans le cas d'une régionalisation des trois niveaux, les standards peuvent être différents (nombre de traitements, matières actives).

* protection poussée : (PP = parcelles C) : granulés systémiques au semis puis programme hebdomadaire complet à partir du 30e jour après le semis. Les matières actives utilisées permettent de lutter contre l'ensemble des éléments du complexe parasitaire (acariens, piqueurs-suceurs, chenilles défoliatrices et carpophages, etc ...).

Les doses de matières actives seront réduites en début de cycle pour éviter une éventuelle phytotoxicité.

Observations :

lors de la réalisation des observations portant sur les populations de ravageurs il faudra prendre en compte les interactions possibles entre les différents ravageurs en particulier lorsque le niveau de l'un d'entre eux entraîne une anomalie comportementale (exemple : forte attaque d'acariose).

| TYPE D'OBSERVATION | PLUS PETIT ECHANTILLON REPRESENTATIF | 1° OBSER. | FREQUEN. | NBRE D'OBS. | UNITE |
|--------------------------------|--|-----------|----------|-------------|-------------------|
| Densité des plants | ensemble des plants présents sur 5 lignes consécutives | Récolte | - | 1 | nbr/are |
| Hauteur des plants | 50 plants sur les 10 lignes centrales | 30 jrs. | 30 jrs | 4 | cm |
| Floraison | 100 mètres linéaires (5 lignes hors lignes de récolte) | 60 jrs. | 3x/sem | 6 à 7 sem | nbr/are |
| Abscission | 100 mètres linéaires (5 interlignes de 20 m.) | 45 jrs. | 3x/sem | 8 à 9 sem | nbr/are |
| Déformations, écimages, etc... | 100 mètres linéaires (5 lignes consécutives de 20 m.) | Récolte | - | 1 | % plants |
| Dégâts sur feuilles | 100 mètres linéaires (5 lignes consécutives de 20 m.) | 30 jrs. | hebdm | 8 à 10 | % plants |
| Analyse sanitaire en vert | toutes les capsules portées par 10 plants consécutifs ou 100 capsules les plus basses | 70 jrs. | hebdm | 5 à 6 | nbr/are ou % |
| Analyse sanitaire à maturité | toutes les capsules sur 40 mètres linéaires | Récolte | - | 1 ou 2 | nbr/are ou % |
| Récolte | 8 lignes centrales, première récolte à 50% d'ouverture | Récolte | 14 jrs | 1 à 3 | Kg/ha |
| Dénombrements de ravageurs (*) | nombre sur 5 plants consécutifs par ligne sur 10 lignes | 30 jrs. | hebdm | 12 à 14 | nbr/are |
| Pucerons | sur 5 feuilles terminales de 5 plants consécutifs par ligne sur 10 lignes | 30 jrs | hebdm | 12 à 14 | % feui. |
| <i>Bemisia</i> | une feuille par plant, 1ère de la 6ème branche fruct. | 30 jrs | hebdm | 12 à 14 | % feui. |
| Acarieus | sur 5 plants consécutifs par lignes et sur 10 lignes une feuille terminale bien développée par plant, sur 10 plants choisis sur 4 lignes | 30 jrs. | hebdm | 8 à 10 | % plants ou grad. |

(*) ravageurs = oeufs ou larves d'*Heliothis*, de *Cosmophila*, *Diparopsis* ou larves d'*Earias*, *Spodoptera*, etc ...

COMPTAGES ET OBSERVATIONS : PLUS PETITS ECHANTILLONS REPRESENTATIFS (CAS DES PARCELLES D'OBSERVATION)

- Observations à réaliser :

- * densité à la levée et à la récolte
- * hauteur des plants
- * floraison
- * abscission pré et post florale
- * dégâts sur feuillage
 - dûs aux phyllophages (*Sylepta*, *Cosmophila*, etc...).
 - dûs aux acariens (tarsomènes et tétranyques),
 - dûs aux orthoptères,
 - dûs aux chrysomelides.
- * analyse sanitaire des organes verts
 - capsules trouées (et dénombrement des chenilles)
 - capsules piquées
 - capsules pourries (bactériose)
- * analyse sanitaire des capsules à maturité
- * récolte (coton blanc et jaune)
- * dénombrement de ravageurs
- * dénombrement de prédateurs, parasitoïdes et pathogènes

Les observations sont réalisées en fonction des moyens existants et disponibles, sur les parcelles non traitées sauf dans le cas de forte infestation.

LES PARCELLES FILTRES

- * essais devant être :
 - régionalisés
 - pérennisés
- * ne pas confondre avec les essais à trois niveaux de protection.

But :

- * compléter les informations données par les parcelles à trois niveaux de protection
- * quantifier l'incidence relative des grands groupes de ravageurs.

Réalisation :

- Mise en place

- * à proximité de la parcelle à trois niveaux de protection
- * en escalier double de préférence (ou plusieurs répétitions si possible) en ligne ou en quinconce.
- * la taille minimale des parcelles élémentaires est de 20 lignes de 20 mètres.

- Programme de traitements

Le principe est soustractif, la référence étant une parcelle plafond recevant l'ensemble des matières actives comparées.

Les matières actives utilisées le seront à la dose efficace la plus faible et à la fréquence correspondant à la rémanence usuelle.

Exemples de matières actives utilisables pour leur activité sélective.

| Mat. actives ----- | cibles ----- | Dose/Ha et fréquence ----- |
|-----------------------|---|---|
| Pyréthrinoïdes | Chenilles carpophages | Deltaméthrine à 6 g / 7 jours. Cyperméthrine à 20 g / 7 jours. |
| Dicofol | Tarsomènes | 300 gr / 7 jours |
| Hexythiazox | Tétranyques | 200 gr / 7 jours |
| Diméthoate | Pucerons, <i>Bemisia</i> , Jassides. | 200 gr / 7 jours |
| Triazophos | <i>Sylepta</i> , myrides etc. | 80 gr / 7 jours |
| D D T | <i>Heliothis</i> + Phyllo - phages. | 1000 gr / 14 jours |

Ces différentes matières actives seront associées de façon à ce que le ravageur (ou groupe de ravageurs) dont on veut évaluer l'incidence ne soit pas détruit (et seulement lui).

Exemple : estimation de dégâts dûs aux tarsomènes

Comparaison des rendements obtenus avec des associations pyréthrinoïdes + diméthoate + dicofol et pyréthrinoïde + diméthoate.

La mauvaise connaissance du spectre d'activité des matières actives rend le problème complexe.

Observations : les seules observations biologiques réalisées seront destinées à contrôler si les effets attendus sont bien observés.

| |
|---|
| <p style="text-align: center;">LES ETAPES DE SELECTION</p> <p style="text-align: center;">D'UNE MOLECULE</p> <p style="text-align: center;">(G. JOUVE)</p> |
|---|

Définition du spectre d'activité d'une matière active :

On peut distinguer deux cas :

A) Essai de comportement d'une molécule nouvelle ou de plusieurs matières actives.

- On utilise une association à spectre large comme témoin.
- Le schéma statistique comprend un nombre de répétitions limité selon les possibilités.
- Les observations sont complètes jusqu'à la récolte.

B) Etude de l'action d'une matière active sur une cible précise.

- Il s'agit de tests " acaricide ", aphicide ... etc...
- Le témoin est l'acaricide (l'aphicide) de référence, par exemple triazophos 250 g/ha (monocrotophos 300 g/ha)
- On peut réaliser un traitement de couverture contre les ravageurs autres que la cible, par exemple avec un pyréthrianoïde dans un essai acaricide, surtout si on désire aller jusqu'au rendement.

Essai de doses :

- il est nécessaire de tester au moins quatre doses encadrant très largement vers le bas et vers le haut la dose proposée par le fournisseur.
- On utilise un témoin connu et un point zéro.
- Pour éviter les effets de protection d'ambiance, particulièrement pour des pyréthrianoïdes, on utilise des parcelles assez grandes dont une proportion réduite est traitée, par exemple 6 lignes sur 12. On se méfiera de la courbe passant par le point zéro, surtout avec les pyréthrianoïdes.
- On utilise une protection de couverture uniforme contre les ravageurs qui ne sont pas cibles du produit testé.

Définition d'associations de matières actives

- Ces essais ont pour but de rechercher les meilleurs compléments.
- Le témoin est une association connue (" vulgarisée ").
- Les observations doivent être complètes jusqu'au rendement.
- On peut utiliser des doses variables de l'un ou de plusieurs des composantes dans des schémas statistiques en factoriel ou en split-plot.
- Les équilibres seront définis en fonction de l'objectif : effets sur le parasitisme ou contraintes commerciales.

Comparaison de formulations vulgarisées

- Les objets mis en comparaison dans ces essais ont des performances voisines et il faut utiliser des schémas statistiques permettant de mettre en évidence des différences faibles. La précision des applications et des observations doit être bonne. Le rendement est essentiel.
- Le témoin est un produit vulgarisé.
- Pour une bonne précision, ces comparaisons se font sur station ou en expérimentation régionale en fonction des structures existantes et des contraintes de régionalisation.

| |
|---|
| <p>COMPARAISONS DE TECHNIQUES ET PROGRAMMES D'APPLICATION (G. JOUVE)</p> |
|---|

COMPARAISON DE TECHNIQUES D'APPLICATION

Dans le cas où ces essais impliquent des techniques U.B.V ou B.V. une méthodologie est nécessaire :

- des parcelles de grande dimension, au moins 25 lignes.
- pas d'écran qui créerait des turbulences

On peut recommander la technique des blocs dispersés.

Les observations physiques et biologiques doivent tenir compte des variations de répartition des dépôts selon la méthode d'application. Les observations sont réalisées au centre de la parcelle, en bas, au milieu et en haut des plants.

COMPARAISON DE PROGRAMMES D'APPLICATION

Il est difficile de mettre en évidence des différences entre programmes. On adopte la technique des essais dose pour établir des courbes, par exemple nombre d'applications-rendement, en dépassant largement les bornes économiques.

| |
|--|
| <p>COLLECTE ET PRESENTATION DES DONNEES ET RESULTATS (M. VAISSAYRE)</p> |
|--|

Il est indispensable que les données recueillies dans les différents domaines d'activités phytosanitaires soient consignées dans un cahier de campagne. On ouvrira un tel cahier pour chaque point où plusieurs essais sont mis en place (Station principale, points d'appui régionaux, etc...). On concevra ce(s) cahier(s) comme les archives de base dans l'éventualité d'une reprise de résultats antérieurs à la campagne en cours. On y fera donc figurer, essai par essai :

- le protocole
- le plan de l'essai sur le terrain
- les différents travaux culturaux
- les résultats des observations successives.
- Les analyses statistiques relatives à ces observations.

Les résultats sont eux-même issus de fiches d'observation que l'on s'efforcera de conserver elles aussi. Lors de leur report sur le cahier de campagne, les chiffres obtenus pourront faire l'objet d'une première manipulation (regroupements hebdomadaires, transformations par unité de surface, etc...).

REDACTION DU RAPPORT

1) EXPRESSION DES RESULTATS EXPERIMENTAUX

Les résultats d'observations biologiques seront exprimés par unité de surface ou de longueur, en pourcentage ou selon des grades prédéfinis, mais en faisant apparaître les effectifs réels à partir desquels ils sont exprimés, lorsque ces effectifs ne peuvent être facilement rétablis à la lecture du protocole. Les observations phytosociologiques ou biologiques seront exprimées à l'are, les rendements en Kg/ha de coton graine.

2) PRESENTATION DES DIFFERENTS ESSAIS :

La présentation d'un essai doit faire figurer :

- le lieu et l'année
- le type de culture, le précédent, la fertilisation, la variété,
- la date des semis, la densité (écartement entre lignes et sur la ligne), ainsi que les principales opérations culturales,
- le calendrier des traitements (exprimés par rapport à la date de levée), ainsi que la technique d'application.
- Les dates ou les périodes des différentes observations et récoltes.
- La climatologie de la campagne, si elle s'applique à un groupe d'essais, pourra faire l'objet d'un paragraphe particulier, ou l'on fera figurer les quantités globales et leur répartition.

On rappellera le dispositif statistique adopté, et les dimensions des parcelles élémentaires, puis on fera figurer les différents objets en comparaison, en citant matières actives et doses/ha pour chaque application.

La méthodologie des observations, si elle est commune à plusieurs essais, pourra faire l'objet d'un paragraphe particulier.

PRESENTATION DES RESULTATS :

elle se fait sous la forme d'un tableau, où l'on fait figurer :

- verticalement, les différents objets, sous la forme la plus explicite possible (5 lettres au minimum)

- horizontalement, les observations réalisées

* densité à 30 j, éventuellement à 90 j, et à la récolte : DENS 30 j, DENS 90 j, DENSREC / are.

* hauteur des plants, à partir de 30 mesures au minimum par parcelle, à 30, 60 et 120 j :
HAUT 30 j, HAUT 60 j, HAUT 120 j en cm

* floraison cumulée, exprimée par are : FLOR/are

*** abscission**

(nombre d'organes florifères ou fructifères tombés)

BF tot/are nombre total de boutons floraux récoltés à terre
 BF tr/are Nombre de ces boutons troués par une chenille
 % BF tr

CAP tot/are Nombre total d'organes tombés après floraison
 CAP tr/are Nombre de ces organes troués par une chenille
 % CAP tr

ABS tot/are abscission pré et post florale totale ou trouée par une chenille
 % ABS tr

*** écimage**

ECIM (ce type de dégât sera exprimé soit par are, soit en %)

*** dégâts attribués à des ravageurs**

ALT cotation à partir des perforations consécutives aux attaques des Coléoptères (Altises) sur le feuillage (de 1 à 5).

Etant réalisée le plus souvent dans des essais de traitements précoces, cette observation peut être exclue du tableau général.

PLTTHR nombre de plants attaqués par les *Thrips*, exprimés par are.
 PLTJAS les jassides (*Empoasca*).
 PLTACA l'acarien *P. latus*, par are.
 PLTPUC nombre de feuilles ou de plants hébergeant une ou des colonies du puceron *A. gossypii*.
 PLTBEM nombre de plants hébergeant des formes fixées de *B. tabaci*.
 PLTSYL nombre de plants présentant une ou deux feuilles enroulées par les chenilles de *Sylepta*.
 PLTMIR nombre de plants avec dégâts (piqûres) de Mirides (*Lygus* et al.).

Toutes ces observations peuvent être exprimées en feuilles infestées, ou en % de plants infestés.

*** Ravageurs présents**

POPACA Population d'acariens cumulée (le nombre de relevés doit être indiqué), exprimée par unité de surface (5cm² par exemple).
 POPBEM Population estimée de l'ensemble des stades ou d'un stade larvaire particulier (mêmes remarques que pour les acariens) . Ces observations figurent le plus souvent dans des essais consacrés à ce type de ravageurs, et l'on pourra faire figurer l'effet de choc (cumul des dénombrements après 3 Jours), où l'action à long terme (somme des relevés effectués à 10/12 jours).
 POPJAS Dénombrement des larves d'*Empoasca*, exprimées pour 1000 feuilles).

Pour les chenilles phyllophages, on reportera dans les colonnes correspondantes COSMO et SPODO, les nombres de *Cosmophila* et *Spodoptera* rencontrés sur une ligne ou un certain nombre de plants, ramenés à l'are.

* Analyse sanitaire des capsules en vert ASV

Il existe différentes approches de l'analyse sanitaire des capsules vertes, selon le rôle que l'on est en mesure d'attribuer aux chenilles endocarpiques et aux insectes piqueurs.

L'échantillon pourra être un groupe de plants (10 pour une parcelle au minimum), où l'on prélève :

- .soit les capsules trouées (présence de chenilles exocarpiques)
- .soit la totalité des capsules vertes présentes
- .soit un échantillon de ces capsules (100 en général), pour y rechercher des traces de piqûres et de pénétration de chenilles à régime endocarpique, ou ces chenilles elles-mêmes.

Les résultats de ces prélèvements seront exprimés par :

CAPTOT nombre de capsules vertes présentes dans l'échantillon
 % CAPTR capsules trouées exprimées en pourcentage
 % CAPPO capsules présentant des pourritures internes
 % CAPPI capsules présentant des traces de piqûres sur les carpelles mais aussi par le nombre de chenilles endocarpiques rencontrées :

PECTIN

CRYPTO exprimé le plus souvent pour 100 capsules vertes

* Analyse sanitaire des capsules parvenues à maturité ASM

Il s'agit d'exprimer le bilan sanitaire des capsules parvenues à maturité, présentes le plus souvent sur une ligne ou une séquence.

CMTOT Nombre de capsules mûres / are
 % CMS Pourcentage de capsules ne donnant que du coton blanc
 % CMTR avec perforations
 % CMPI avec piqûres
 % CMPO avec pourriture (sans attaque)

PMCS Poids de coton issu des capsules entièrement saines
 PMC Poids de coton blanc provenant de capsules attaquées

% CJ Taux de coton jaune (coton issu des loges attaquées). Eventuellement, taux d'abscission post floral s'il y a eu dénombrement de la floraison sur cette même ligne.

* Récoltes REC

On exprimera en Kg de coton-graine par hectare les poids obtenus à la première récolte (environ 50% d'ouverture), à la seconde récolte et pour la récolte totale.

INDICATIONS RELATIVES A L'ANALYSE STATISTIQUE

Chacune des colonnes définies précédemment peut faire l'objet d'une analyse statistique. Lorsque des différences statistiquement significatives sont observées, on fait suivre la moyenne de chaque objet d'une lettre minuscule correspondant au classement selon le critère de DUNCAN, le meilleur résultat étant affecté de la lettre " a ". Ces données sont exprimées après ajustement et détransformation

Dans le cas d'un essai factoriel et en l'absence d'interaction le test de DUNCAN s'applique aux niveaux des facteurs et non aux objets.

On n'utilisera pas le test DUNCAN pour les essais doses pour lesquels il est plus intéressant d'estimer une courbe de réponse et ses limites de confiance.

En bas de chacune des colonnes qui aura fait l'objet d'une analyse statistique, on fera obligatoirement figurer :

- la transformation éventuelle

RAC (x+1)

LOG (x+1)

ASIN rac pour la transformation de BLISS

- le coefficient de variation, exprimé en %, avec 1 décimale, dans la mesure où l'analyse a été réalisée sur des données non transformées. Si une transformation a été utilisée, le coefficient de variation n'a plus de sens et ne doit pas être précisé. Dans la mesure du possible, on indiquera tout de même le coefficient de variation calculé sur les données brutes.

- les différentes valeurs du F, blocs, lignes ou colonnes, traitements avec 2 décimales.

- le niveau de signification (en %)

Le classement selon DUNCAN est effectué à 5%, sauf si l'on a retenu le niveau 10 %.

Pour les essais Factoriels, on fera figurer les différentes valeurs du F : F1 pour le facteur principal, F2 pour le facteur secondaire et F de l'interaction.

Autres types d'analyses :

lorsque les résultats d'observations phytosanitaires peuvent être figurés par des tableaux où les individus (traitements ou lieux des observations) sont en nombre supérieur à celui des variables, on peut envisager les analyses multivariées pour résumer les liaisons entre variables et les ressemblances entre individus, par exemple, pour définir certaines fluctuations régionales du parasitisme.

On pourra également, soit par régression multiple, soit par analyse de covariance, tenter de définir la contribution des différentes données parasitaires dans les caractéristiques de production.

DEFINITION DES PRINCIPAUX DOCUMENTS A ETABLIR

- les protocoles
- le rapport préliminaire (Résultats bruts, sans discussion)
- le rapport annuel
- les fiches essais pour la base de données phytosanitaires
- les données obtenues au niveau parcellaire devront être récupérables à partir d'un stockage sur support informatique (disquette)

| |
|-----------------------------|
| PLAN-TYPE DU RAPPORT ANNUEL |
|-----------------------------|

Résumé des activités de la campagne

- Conditions générales de la campagne
- Expression des principaux résultats à retenir

Généralités

- personnel affecté à l'opération
- conditions parasitaires de la campagne (au niveau national)
- statistiques relatives à la protection phytosanitaire à partir des chiffres fournis par la Société de Développement
- carte des zones d'intervention
- données économiques (prix du coton-graine, de la protection, etc.).

Expérimentation conduite sur station

- climatologie
- conduite de la culture
- le parasitisme sur la station de recherches à partir des parcelles
3 niveaux et filtres

Expérimentation portant sur les pesticides

- essais où un ravageur est défini comme cible
- produits et associations d'introduction récente
- définition des doses d'utilisation des pesticides
- essais de confirmation et de produits vulgarisables

Méthodologie des applications de pesticides :

- utilisation de systémiques appliquées au sol (granulés)
- tests portant sur le matériel et le volume épandu
- expérimentation consacrée aux programmes de traitements

Etudes particulières

EXPERIMENTATION REGIONALE

Incidence du parasitisme au niveau des différentes zones écologiques

- Comparaison de produits
- Programmes de traitements régionalisés
- Méthodologie des applications
- Désinfection des semences

TESTS EN MILIEU REEL

ESSAIS INTERDISCIPLINAIRES

ACTIVITES DU LABORATOIRE D'ENTOMOLOGIE

ANNEXES

Liste des formulations testées au cours de la campagne

Liste des essais mis en place (Station et points d'appui extérieurs)

Recommandations éventuelles

Carte du pays ou de la zone cotonnière

Remarque : chacun des chapitres sera conclu par une courte discussion, faisant éventuellement appel aux résultats de campagnes antérieures.

BIBLIOGRAPHIE

I.T.C.F. (Institut technique des céréales et fourrages) :

- Les comparaisons de moyennes et de variances. J.P. GOUET.
- Théories des plans d'expériences (application à l'agronomie). G. PHILIPPEAU.
- Comment interpréter les résultats d'une analyse de variance ? J.P. GOUET et G. PHILIPPEAU.
- Comment interpréter les résultats d'une régression ? TOMASSONE
- Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales ? G. PHILIPPEAU.

QUE SAIS-JE :

- L'analyse de données. J.-M. BOUROCHE et G. SAPORTA (N°1854).
- L'analyse factorielle. P. CIBOIS (N°2095).

LEFONEN :

- Qu'est ce que l'analyse de données. J.-P. FENELON.

DUCULOT :

- Théories et méthodes statistiques (3 tomes). P. DAGNELIE.

WILEY :

- Experimentals designs. COCHRAN W. et COX G.

A.C.T.A. (Association de coordination technique agricole) :

- Méthodes statistiques. SNEDECOR G. et COCHRAN W.

I.N.R.A.

- la régression, Nouveau regard sur une ancienne méthode statistique. TOMASSONE.

DEUXIEME PARTIE

REALISATION DES APPLICATIONS INSECTICIDES

(G. JOUVE)

Dans un essai, les applications insecticides doivent permettre d'épandre les formulations à comparer sur les différentes parcelles dans des conditions identiques et conformément au protocole qui a été défini.

Ce chapitre traite plus particulièrement des formulations émulsifiables et par extension de toute formulation utilisée à volume bas ou moyen avec de l'eau (par exemple, les poudres mouillables). Certains points développés concernent également les formulations huileuses utilisées à très bas volume.

Les appareils sont en général des appareils à dos à pression entretenue du type Tecnomat T15 ou T16. Ils sont habituellement équipés d'une rampe horizontale du type Cadou avec 4 buses assurant la couverture de 2 lignes par passage, cependant les modes d'application décrits ci-dessous sont également utilisables avec des appareils à pression préalable ou d'autres types de rampes ou de lances.

Le débit étant lié à la pression de travail, la vitesse d'avancement est réglée pour épandre le volume désiré par unité de surface.

1. DIFFERENTES METHODES D'APPLICATION

1.1. Méthode à éviter

Cette méthode reproduit la pratique agricole courante avec le minimum d'adaptation nécessaire à l'expérimentation.

Les pulvérisateurs sont numérotés, un appareil est réservé à l'application d'un seul produit, en général pour toute la campagne. L'appareil est rempli du volume d'émulsion nécessaire à l'ensemble des parcelles d'un objet.

L'opérateur couvre les parcelles en maintenant la pression constante et en avançant à vitesse régulière. La pression est maintenue constante en conservant le rythme précis ayant servi à l'étalonnage, par exemple une manoeuvre de la pompe tous les trois pas ou x manoeuvres par ligne. La vitesse d'avancement peut être contrôlée par chronométrage du temps nécessaire au parcours d'une ligne.

Avec des pulvérisateurs en bon état de marche, correctement étalonnés et un opérateur entraîné, la totalité du contenu est épandue sur les lignes prévues. Il peut arriver que les deux dernières lignes, sur lesquelles aucune observation n'est réalisée, ne soient pas complètement traitées faute de produit ou qu'il reste une quantité de produit équivalente au traitement d'une ou deux lignes.

Dans ces conditions et en considérant un essai à 8 répétitions et 6 ou 8 lignes traitées par parcelle, la différence entre la dose prévue dans le protocole et la dose réellement épandue est de l'ordre de 2 à 4 % ce qui est négligeable.

Cette méthode qui ne peut être utilisée qu'avec des appareils en parfait état, sans usure des pompes ou des buses et un personnel expérimenté, se révèle rapide et présente des risques d'erreur faibles. Elle valorise les opérateurs, en faisant d'eux de véritables spécialistes de l'application.

Ses principaux inconvénients sont, outre la nécessité d'un personnel très entraîné :

- 1- le moindre incident (terrain glissant ralentissant la marche, fatigue de l'opérateur, jet partiellement obturé ou usé etc ...) compromet la bonne réalisation du protocole.
- 2- l'opérateur et l'appareil ne peuvent pas être les mêmes pour tous les traitements car l'application durerait trop longtemps, les objets mis en comparaison sont donc les ensembles produit-opérateur-pulvérisateur, ce qui entraîne une corrélation des erreurs.

1.2. Variantes

1.2.1 Individualisation des parcelles

Les doses à épandre sont calculées pour chaque parcelle individuellement et si possible mises à l'avance dans un flacon. Un même appareil est utilisé avec le même opérateur pour l'ensemble d'un bloc supprimant ainsi la corrélation des erreurs à condition que l'ordre d'application des différents objets soit aléatoire. Cette méthode nécessite des appareils faciles à nettoyer entre chaque parcelle. Les difficultés liées à la régularité de l'application et à la conformité des doses ne sont pas résolues.

Sur un essai dont le nombre d'objets est peu élevé, un même opérateur pourra prendre en charge avec un seul pulvérisateur les applications sur plusieurs blocs, les flacons peuvent alors contenir les doses nécessaires à 2, 3 ou 4 parcelles.

1.2.2 Augmentation du volume

Le risque à craindre est le manque de produit pour les dernières lignes. On pourra pour l'éviter augmenter le volume soit en conservant la même dose de produit, soit en gardant la même concentration.

Dans les deux cas le volume épandu reste de l'ordre de grandeur de celui recommandé. Dans le premier cas la dose appliquée pourra être inférieure à la dose prévue, dans le deuxième, elle sera différente, supérieure ou inférieure à celle du protocole. La dose réellement épandue sera toutefois calculable simplement et rapidement par la mesure du reliquat contenu dans l'appareil. Le principal défaut de cette méthode est que l'opérateur n'a plus le moyen de vérifier que son rythme est le bon, il peut se sentir déresponsabilisé et les variations de volumes épandus risquent d'aller en s'accroissant.

Si la différence entre la dose prévue et la dose épandue est assez faible (un maximum de 10 % doit être acceptable) et que le but de l'essai est de comparer des doses précises de divers produits, on pourra envisager d'ajuster la dose du traitement suivant, particulièrement si la pression parasitaire est modérée et la fréquence d'application élevée.

Dans ce dernier cas, cette méthode se prête bien à l'individualisation des parcelles car la dose appliquée sur les différentes parcelles d'un même objet est connue. L'ajustement de la dose d'une application en fonction de la dose réellement épandue lors de la précédente est ainsi possible parcelle par parcelle.

1.3. Méthodes avec doubles passages

Les méthodes avec double passage ont en commun l'inconvénient d'employer un volume d'émulsion qui peut être du double de celui préconisé par les services de vulgarisation. Dans la mesure où les essais sont faits avec des concentrés émulsifiables à bas ou moyen volume et les applications commerciales avec des formulations à très bas volume cet inconvénient peut être négligé. Ces volumes élevés peuvent toutefois biaiser les comparaisons entre des produits à action systémique et des produits n'agissant que par contact en assurant une couverture supérieure des plants.

Ces méthodes imposent un surcroît de travail surtout si les parcelles sont individualisées. Un deuxième passage sur des parcelles traitées rend nécessaire le port de vêtements de protection efficaces.

Leur avantage principal est de permettre un bon ajustement des doses épandues avec un personnel moyennement entraîné et un matériel de qualité inférieure.

1.3.1 Double passage avec ajustement de la vitesse ou de la pression

Le pulvérisateur est chargé d'un volume égal au double de celui supposé nécessaire. La mesure du volume restant après le premier passage permet d'ajuster la dose épandue en effectuant un deuxième passage en faisant varier la vitesse d'avancement ou la cadence du mouvement de la pompe.

1.3.2 Double passage avec ajustement par dilution

Le pulvérisateur est chargé d'un volume sensiblement supérieur à celui nécessaire à un passage. Après un premier passage, le volume restant est mesuré, on ajoute alors un volume d'eau soit égal au volume initial ($V_2 = V_1$), soit calculé en fonction du volume épandu au cours du premier passage pour obtenir un reliquat faible, soit encore pour rétablir le niveau initial ($V_2 = V_1 - R_1$).

La dose de produit sera légèrement supérieure à celle nécessaire dans le premier cas et égale dans les deuxième et troisième.

Une mesure du reliquat à l'issue d'un deuxième passage donne la quantité réellement appliquée. La dilution relativement faible appliquée lors du deuxième passage permet d'obtenir une dose précise.

Exemple :

D = quantité de produit à épandre mise dans la cuve
 V1 = volume mis dans le pulvérisateur pour le 1er passage
 R1 = volume restant après le 1er passage
 V2 = volume ajouté à R1 pour le 2ème passage
 R2 = volume restant après le 2ème passage

La quantité d réellement épandue sera :

$$d = D (V1-R1)/V1 + D (R1/V1) \times (V2+R1-R2)/(V2+R1) \text{ soit}$$

$$d = D (1 - (R1 \times R2) / (V1(V2+R1))).$$

Application : pour une erreur d'estimation du volume à épandre $R1/(V1-R1)$ de 10 %, 20 % et 33 % on obtient respectivement :

- avec un volume V2 déterminé comme V1 avant l'opération,

| | | | | | | | | |
|------|------|----|------|---|------|---|-----|---------|
| V1 = | V2 = | 11 | R1 = | 1 | R2 = | 2 | d = | 0,985 D |
| | | 12 | | 2 | | 4 | | 0,933 D |
| | | 12 | | 3 | | 6 | | 0,900 D |

- avec un volume V2 calculé sur le terrain en fonction de V1 et de R1 tel que $R1+V2 > V1-R1$

| | | | | | | | | | |
|------|----|------|---|------|----|------|---|-----|---------|
| V1 = | 11 | R1 = | 1 | V2 = | 10 | R2 = | 1 | d = | 0,992 D |
| | 12 | | 2 | | 9 | | 1 | d = | 0,985 D |
| | 12 | | 3 | | 7 | | 1 | d = | 0,975 D |

- avec un volume V2 = V1-R1 le résultat sera intermédiaire entre les deux précédents.

| | | | | | | | | | |
|------|----|------|---|------|----|------|---|-----|---------|
| V1 = | 11 | R1 = | 1 | V2 = | 10 | R2 = | 1 | d = | 0,992 D |
| | 12 | | 2 | | 10 | | 2 | | 0,972 D |
| | 12 | | 3 | | 9 | | 3 | | 0,937 D |

1.4. Méthode avec passages multiples

Dans cette méthode, l'appareil est rempli avec la dose exactement nécessaire à une parcelle et un grand volume d'eau. En Egypte par exemple 600 litres sont utilisés par hectare dans les essais de matières actives nouvelles. La totalité du contenu est pulvérisée sur la parcelle au cours de plusieurs passages, éventuellement croisés. Le volume élevé assure une bonne répartition du produit. Il n'est pas nécessaire de connaître le volume d'eau épandu avec une grande précision.

2. MATERIEL EXPERIMENTAL

2.1. Pulvérisateurs

Il est nécessaire de disposer de pulvérisateurs en bon état. Cette précaution limite les risques de pannes en cours de réalisation des essais ainsi que les différences de pression et de débit entre appareils.

On veillera particulièrement à l'étanchéité des joints et des poignées d'ouverture.

Les joints de piston et les buses seront renouvelés en même temps et assez tôt sur tous les appareils.

Il est possible de monter des manomètres sur les poignées d'ouverture du débit ou des détendeurs sur la cloche à air pour contrôler la régularité de la pression en cours d'opération. Dans la pratique, le manomètre ne sera utilisé que pour étalonner les appareils et contrôler périodiquement la pression et le débit obtenus avec un rythme donné de pompage (par exemple un coup tous les 3 ou 4 pas).

Certains pulvérisateurs comme les T16 de Tecnomat sont pourvus d'un orifice au sommet de la cuve facilitant leur vidange, un tel dispositif pourra être adapté sur d'autres appareils.

Sur les appareils dont la sortie du liquide se fait au sommet de la cloche à air, le tube plongeur devra être assez long pour permettre une vidange maximale de la cloche par la pression.

Il est toujours préférable de disposer sur les lieux de l'essai d'au moins un appareil supplémentaire pour éviter d'avoir à effectuer des nettoyages ou changement de pièces au champ, toutefois quelques buses complètes et identiques à celles utilisées sont indispensables.

2.2. Matériel de mesure

Les mesures de volume doivent être réalisées avec une gamme d'instruments assurant une précision suffisante.

- Mesure des formulations : on utilise des burettes cylindriques graduées, des seringues ou des pipettes automatiques.

La précision doit être élevée. La précision de la dose épanchée est au mieux égale à celle de la dose mise dans l'appareil.

- Mesure des quantités d'eau et d'émulsions : les bidons, seaux ou brocs en matière plastique translucide devront être étalonnés de façon précise. Les récipients étroits mais stables sont préférables, car plus précis.

Dans certains cas, la mesure du contenu peut se faire avec une règle étalonnée directement dans la cuve du pulvérisateur si sa géométrie permet d'obtenir une bonne précision.

La précision relative nécessaire sur les mesures de volume d'eau et d'émulsions est inférieure à celle nécessaire sur les produits formulés concentrés.

Vérifions ceci sur les exemples suivants :

1^{er} cas : la totalité du volume est épanchée, aucune précision n'est nécessaire, la précision de la dose épanchée sur le champ est égale à la précision de la mesure du produit.

2^{ème} cas : la dose réellement appliquée champ est calculée à partir de la différence entre le volume mis dans l'appareil et celui qui reste après l'application, exemple :

- on déclare avoir mis 100 g dans 100 litres d'eau et obtenir un reliquat de 10 litres donc avoir épanché $(100 \text{ g} / 100 \text{ l}) \times (100 - 10) \text{ litres} = 90 \text{ g}$; si on commet une erreur de 10 % sur les mesures de volumes, on a pu placer 110 litres dans l'appareil et le reliquat réel peut être de 9 litres, on a donc épanché $(100 \text{ g} / 110 \text{ l}) \times (110 - 9) \text{ l}$ soit 91,82 g et non 90, l'erreur est dans ce cas de $1,82/90 = 2 \%$

- pour un reliquat de 20 litres, ces chiffres deviennent :

valeur annoncée : $(100 \text{ g} / 100 \text{ l}) \times (100 - 20) \text{ l} = 80 \text{ g}$ alors que la réalité est de : $(100 \text{ g} / 110 \text{ l}) \times (110 - 18) \text{ l} = 83,64 \text{ g}$, soit une erreur de 4,5 %.

On pourra se contenter d'une précision sur les volumes inférieure à la précision sur le produit insecticide. Pour une précision de la dose de formulation de l'ordre de 1 %, une précision de 2 % sur les volumes sera suffisante.

2.3. Matériel divers

Il faut éviter d'avoir besoin au champ d'entonnoir ou autre petit matériel qui risque fortement de finir sur le sol et d'entraîner poussières et grains de sable dans les pulvérisateurs.

3. REALISATION DE L'ESSAI

3.1. Implantation sur le terrain, position des étiquettes

L'implantation de l'essai sur le terrain doit être conçue pour éviter les risques d'erreur comme le traitement de la parcelle adjacente à la parcelle à traiter par une mauvaise interprétation de la situation de la parcelle par rapport à l'étiquette ou la disparition de celle-ci.

Il est possible de ne pas numéroter les parcelles avec la succession de tous les chiffres consécutifs pour faciliter le repérage sur le terrain. La première bande sera numérotée de 1 à 8 ou 14, la deuxième de 11 ou 21 à 18 ou 34 etc....

Les différents essais pourront être distingués par le chiffre des centaines ou des couleurs d'étiquettes différentes.

Position des étiquettes :

Les étiquettes portant le numéro des parcelles seront toujours placées au même endroit de la parcelle dans tous les essais. Par exemple sur la première ligne de chaque parcelle, la parcelle étant située à droite de cette étiquette quand on la regarde depuis l'allée. Une alternative est de la placer sur la première ligne à traiter si des lignes de bordure non traitées sont prévues, surtout si ce nombre varie d'un essai à l'autre.

Quand elle est sur la première ligne, il est possible d'arracher 2 ou trois poquets derrière cette étiquette pour pouvoir la replacer facilement sans risque d'erreur si elle venait à être déplacée ou égarée.

Le choix du type d'implantation se fera en tenant compte des habitudes locales éventuelles, il est essentiel qu'il soit le même pour l'ensemble des essais dans tout le réseau et d'une année sur l'autre, y compris si possible pour les essais d'autres sections.

3.2. Choix de la méthode d'application

Le choix de la méthode d'application des traitements dépend des possibilités humaines et matérielles, des dimensions de l'essai ou de l'homogénéité du terrain mais aussi de la précision de dose souhaitable en fonction du but chaque essai.

Les exemples proposés ci-dessous précisent la méthode utilisable pour quelques types d'essais :

*** Essais à 3 niveaux de protection :**

Les parcelles recevant la protection standart et la protection poussée sont largement différentes, la précision de la dose n'est pas critique, les méthodes avec un seul passage sont suffisantes. On pourra également réaliser en même temps l'application sur les 2 parcelles d'un même objet en préparant un volume légèrement supérieur au besoin théorique. Les parcelles étant larges d'une vingtaine de lignes, le non traitement des 2 ou 4 dernières sur le traitement standard n'aura que peu d'importance si ces lignes sont adjacentes à celles non traitées.

*** Essai de screening :**

Ces essais mis en place pour détecter parmi un grand nombre des matières actives celles ayant une action sur un ou plusieurs ravageurs ne nécessitent pas une grande précision et peuvent être réalisés avec un seul passage.

*** Essai d'équivalence à un témoin d'un produit nouveau :**

Le produit nouveau est mis en essai à des doses largement différentes les unes des autres, un écart de quelques pourcents avec le protocole n'a pas d'importance pour établir une courbe de réponse et l'application en un seul passage peut être justifiée.

*** Essai de comparaisons de produits vulgarisables :**

A la suite d'essais précédents, différents produits ont été estimés équivalents à des doses précises. Il importe donc que ces doses ou au moins leurs rapports soient précisément respectés. Les méthodes avec passages répétés et dilutions successives sont préférables.

Quand les dimensions de l'essai le permettent il est plus rapide d'utiliser un seul appareil et un seul opérateur et de réaliser en même temps l'application sur toutes les parcelles d'un même objet aussi longtemps que de la fatigue de l'opérateur ne risque pas d'engendrer de différences.

Les essais de dimensions supérieures nécessiteront plusieurs opérateurs et plusieurs pulvérisateurs. Un pulvérisateur et un opérateur doivent alors être utilisés pour un nombre réduit de blocs mais dans chaque bloc pour tous les objets.

Il est bien entendu que dans tous les essais, si la précision de la dose appliquée par rapport au protocole de l'essai n'est pas toujours importante, la connaissance de la dose réellement appliquée est capitale et avec une précision suffisante.

3.3. Préparation des mélanges à épandre

Si les parcelles doivent être traitées individuellement il est préférable de préparer directement au laboratoire les émulsions qui seront mises dans des bidons portants les numéros des parcelles ; ceci évitera les problèmes de mélanges extemporanés et de récupération du produit du rinçage de l'instrument de mesure des produits.

Si les bidons sont trop petits pour contenir le volume nécessaire à une parcelle, il est possible de compléter avec un volume précis d'eau au moment de l'application.

Les bidons sont disposés au champ devant chaque parcelle, ils servent à récupérer le reliquat non épandu qui sera rapporté au laboratoire pour être mesuré.

Pour des parcelles de 150 m² traitées avec un volume de 100 litres/hectare des bidons de 2 litres sont suffisants. Avec des bidons ou des flacons d'un demi litre ou un litre, on ajoutera pour chaque parcelle un volume d'eau précis (1,2 - 1,3 ou 0,7 - 0,8 litres) au moment de l'application.

Le même principe s'applique si plusieurs ou la totalité des parcelles d'un même objet sont traitées en même temps. Des bidons plus grands seront alors nécessaires pour collecter les reliquats.

3.4. Nettoyage du matériel

Entre chaque parcelle ou chaque objet, les pulvérisateurs sont rincés. Ce rinçage peut être assez sommaire si les cloches à air des pulvérisateurs se vident correctement. Il est l'occasion de vérifier la bonne mise en pression de l'appareil et l'état des jets.

Un nettoyage plus poussé, intérieur et extérieur sera nécessaire en fin de journée. Sur les appareils ne comportant pas de pièces en cuivre ou en laiton une solution de 10 ml d'ammoniaque dans 5 litres d'eau peut être utilisée pour le rinçage.

Les appareils pourront être gardés en magasin avec de l'eau dans les cuves mais toujours sans pression.

Les reliquats des appareils et les eaux de rinçage ne doivent pas être versés dans les éviers ni sur un terrain fréquenté par des piétons ou des animaux domestiques.

DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX DES ESSAIS PHYTOSANITAIRES SUR COTONNIER (G. JOUVE)

1. ESSAI EN BLOCS ALEATOIRES COMPLETS ou BLOCS DE FISHER

Le dispositif statistique le plus courant est le dispositif en blocs aléatoires complets (blocs de Fisher) dans lequel chaque bloc comprend tous les traitements.

Les blocs permettent de contrôler les hétérogénéités du terrain qui suivent un gradient, ou consécutives à des discontinuités : hétérogénéité naturelle (pente, profondeur et nature du sol, gradient d'infestation dû au vent dominant, à la proximité d'autres cultures, de jachères ou de végétation naturelle, concentration de certains ravageurs en bordures de parcelles) ou artificielle (date de semis, façons culturales, fertilisation etc.).

Les blocs doivent être orientés perpendiculairement au gradient principal. Des dispositifs comme les carrés latins permettent de contrôler plusieurs gradients d'orientations différentes.

Ce dispositif est assez souple d'emploi, les données manquantes sont facilement estimées.

1.1. Implantation des blocs

1.1.1 Homogénéité INTRA-BLOCS

Chaque bloc contient l'ensemble des traitements et correspond à une répétition.

Les blocs peuvent être très différents entre eux mais au sein d'un bloc, hormis les facteurs étudiés, les conditions doivent être le plus égales possibles, toute variation augmentant la variance résiduelle et donc diminue la précision de l'essai.

Il est donc primordial de délimiter les blocs selon leur homogénéité et non en fonction du nombre de variantes que l'on souhaite étudier.

La première qualité que l'on attend d'un bloc n'est pas d'avoir une forme rectangulaire, mais d'être homogène.

1.1.2 Hétérogénéité INTER-BLOCS

L'analyse de la variance d'un essai en blocs de Fisher permet de retrancher la somme des carrés des écarts des blocs de la résiduelle. On peut accentuer les différences naturelles entre les blocs pour :

- des raisons pratiques : difficultés d'effectuer les semis, sarclages, démariages ou récoltes le même jour,
- pouvoir généraliser les résultats de l'essai : différentes variétés, fumures, dates de semis, sol, etc.

Les interactions entre blocs et traitements ne sont pas évaluées dans les dispositifs en blocs de Fisher. Elles peuvent être importantes et font perdre en précision ce qu'elles font gagner en généralisation.

Si les blocs sont implantés dans des conditions homogènes, les conclusions tirées de l'essai seront liées à ces conditions, par contre si les blocs sont délibérément très différents pour, par exemple, représenter l'ensemble des conditions de culture d'une région, il est possible de donner les conclusions de l'essai avec moins de restrictions.

Dans la pratique, de trop grandes différences entre blocs peuvent entraîner des différences de variances des observations d'un bloc à l'autre et rendre les analyses statistiques difficiles ou impossibles.

Dans des essais de "recherche" les blocs devront être assez semblables tandis que dans les essais de pré vulgarisation une gamme plus large de conditions sera utilisées.

1.1.3 Randomisation

Dans chaque bloc, on permute aléatoirement la liste des traitements.

Pour cela, on extrait une série d'une table de permutations aléatoires.

Pour les dispositifs en blocs comme pour les autres, il est important de ne pas se tenir à un plan type, mais d'effectuer une nouvelle randomisation pour chaque essai que l'on met en place. Ceci est particulièrement vrai si l'on veut regrouper les résultats d'essais d'un réseau multi-local ou pluri-annuel, comportant peu de répétitions.

La confiance dans les tirages au hasard réalisés par ordinateur doit être limitée, en effet, nombre de logiciels utilisent un générateur de nombre pseudo-aléatoire dont les résultats sont douteux.

1.2. Résultats à attendre d'un essai

1.2.1 Différences significatives en fonction de l'homogénéité du terrain

Dans un essai de r répétitions et comparant t traitements, les différences significatives minimales qui seront montrées au seuil de 5 % avec une probabilité de 80 % sont données en fonction du coefficient de variation dans le tableau suivant (origine = MICROSTAT - ITCF):

Différences minimales mises en évidence en % de la moyenne de l'essai en fonction du coefficient de variation :

| nb blocs trait. cv % | | 5 | 8 | 12 | 20 | 40 | 80 |
|-------------------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2 | 5 | 13,67 | 7,81 | 5,86 | 4,15 | 2,69 | 1,83 |
| | 10 | 27,34 | 15,63 | 11,72 | 8,30 | 5,37 | 3,66 |
| | 15 | 39,06 | 23,44 | 17,58 | 12,70 | 8,30 | 5,37 |
| 4 | 5 | 12,70 | 8,79 | 6,84 | 5,13 | 3,42 | 2,44 |
| | 10 | 25,39 | 17,58 | 13,67 | 10,25 | 6,84 | 4,88 |
| | 15 | 39,06 | 27,34 | 20,51 | 15,63 | 10,25 | 7,32 |
| 8 | 5 | 13,67 | 9,77 | 7,81 | 5,86 | 4,15 | 2,81 |
| | 10 | 27,34 | 19,53 | 15,63 | 11,72 | 8,30 | 5,62 |
| | 15 | 41,02 | 29,30 | 23,44 | 17,58 | 12,21 | 8,34 |
| 16 | 5 | 15,14 | 11,23 | 9,03 | 6,84 | 4,64 | 3,30 |
| | 10 | 30,27 | 22,46 | 18,07 | 13,67 | 9,28 | 6,59 |
| | 15 | 44,92 | 33,20 | 26,86 | 20,51 | 14,16 | 10,01 |

Par exemple, dans un essai blocs à 8 répétitions et 4 objets, pour un coefficient de variation de 5 %, des différences de 8,8 % entre moyennes apparaîtront significatives au seuil de 5 % dans 80 % des cas.

1.2.2 PUISSANCE D'UN ESSAI

La puissance d'un essai est la probabilité qu'il a de mettre en évidence des différences de moyenne données à un seuil donné. Elle est fonction du nombre de blocs, de traitements et du coefficient de variation. La puissance d'un essai est tabulée ci-dessous pour des différences de moyennes de 5 % au seuil de 5 %.

Probabilité de mettre en évidence des différences de 5 % en fonction du nombre de blocs, de traitements et du coefficient de variation.

| nb blocs trait. CV% | | 5 | 8 | 12 | 20 | 40 | 80 |
|------------------------|----|------|------|------|------|------|------|
| 2 | 5 | 21.0 | 33.0 | 75.1 | 87.8 | 94.4 | 99.8 |
| | 10 | 9.4 | 13.9 | 19.3 | 28.2 | 77.4 | 90.8 |
| | 15 | 6.9 | 9.0 | 11.7 | 16.8 | 27.1 | 76.2 |
| 4 | 5 | 18.4 | 29.6 | 61.3 | 79.6 | 96.1 | 99.8 |
| | 10 | 8.0 | 10.6 | 14.5 | 22.3 | 39.6 | 82.3 |
| | 15 | 6.3 | 7.3 | 8.9 | 12.2 | 20.8 | 36.8 |
| 8 | 5 | 14.0 | 22.5 | 34.5 | 67.5 | 93.0 | 99.8 |
| | 10 | 6.9 | 8.5 | 10.9 | 16.1 | 30.8 | 70.0 |
| | 15 | 5.8 | 6.4 | 7.4 | 9.3 | 15.1 | 27.9 |
| 16 | 5 | 10.9 | 16.5 | 25.1 | 43.5 | 85.4 | 99.4 |
| | 10 | 6.2 | 7.2 | 8.7 | 12.1 | 22.2 | 44.9 |
| | 15 | 5.5 | 5.9 | 6.5 | 7.8 | 11.3 | 20.0 |

Par exemple, avec un coefficient de variation de 10 %, 12 répétitions et 4 objets, des différences de moyennes de 5 % ne seront significatives au seuil de 5 % que dans 14,5 % des cas.

1.2.3 Détermination du nombre de blocs nécessaires

Le calcul approché du nombre de blocs nécessaire en fonction du résultat recherché avec le logiciel MICROSTAT donne en fonction du nombre d'objets et du coefficient de variation, pour une probabilité de mettre 4 fois sur 5 ou 9 fois sur 10 en évidence des différences significatives de d % au seuil de 5 % les nombres de répétitions suivants :

Nombre de blocs nécessaires pour montrer des différences d entre traitements (puissance 80 et 90 %) :

| nb objets | d cv% | 3% | | 5% | | 10% | | 20% | |
|--------------|----------|------|------|------|------|-----|-----|-----|----|
| 2 | 5 | 32 | 56 | 14 | 24 | 7 | 9 | 3 | 5 |
| | 10 | 128 | 192 | 48 | 80 | 14 | 24 | 7 | 9 |
| | 15 | 248 | >255 | 96 | 160 | 28 | 48 | 10 | 16 |
| 4 | 5 | 52 | 80 | 20 | 28 | 7 | 9 | 3 | 4 |
| | 10 | 208 | >255 | 72 | 112 | 20 | 28 | 7 | 9 |
| | 15 | >255 | | 160 | 240 | 44 | 64 | 13 | 18 |
| 8 | 5 | 72 | 96 | 28 | 36 | 8 | 10 | 3 | 3 |
| | 10 | >255 | | 104 | 144 | 28 | 36 | 8 | 10 |
| | 15 | | | 224 | >255 | 60 | 80 | 16 | 22 |
| 16 | 5 | 96 | 128 | 36 | 48 | 10 | 12 | 3 | 4 |
| | 10 | >255 | | 144 | 176 | 36 | 48 | 10 | 12 |
| | 15 | | | >255 | | 80 | 104 | 20 | 26 |

Soit un essai comprenant 8 traitements. Pour avoir une probabilité de 80 % de mettre significativement au seuil de 5 % des différences de 10 % sur un terrain dont on prévoit qu'il permettra d'obtenir un coefficient de variation de 10 %, il faudra disposer de 28 blocs.

On pourra déterminer le nombre de blocs nécessaire pour avoir une chance sur deux de distinguer deux moyennes (puissance de l'essai de 50 %) à un niveau de signification de 5 % par la formule approchée suivante :

$$n = 8v^2/d^2 \text{ avec}$$

- n = nombre de blocs,
- v² = carré du coefficient de variation attendu,
- d² = carré de la différence à mettre en évidence.

Pour une puissance de 90 % on remplacera dans la formule le 8 par un 21.

Pour une comparaison de plus de 2 moyennes, ces coefficients seront respectivement de 10 et 20 à 30.

1.3. Conclusions

Le nombre de blocs (répétitions) doit être déterminé par la précision des résultats que l'on veut obtenir avec une probabilité raisonnable en fonction du but de l'essai et de l'écart-type résiduel attendu d'après les résultats d'expérimentations précédentes. Si le nombre de répétitions nécessaire à l'obtention d'un résultat avec cette probabilité se révèle incompatible avec les moyens matériels disponibles, il est préférable de redéfinir les objets prioritaires pour en limiter le nombre.

Exemples : un nouveau problème apparaît comme des pullulations de tétranyques, il s'agit de sélectionner rapidement quelques matières actives. On admettra un risque élevé de ne pas déclarer différentes des matières actives qui en fait le sont faiblement.

Par contre s'il s'agit de distinguer la meilleure formulation pour un appel d'offre les différences à mettre en évidence devront être faibles.

Dans le premier cas (sélection rapide d'une matière active) un essai à 2 répétitions avec un coefficient de variation de 10 % permettra une fois sur deux de distinguer 2 traitements différents de 20 %, 3 ou 4 répétitions donneraient le même résultat 8 ou 9 fois sur 10.

Dans le deuxième cas, pour avoir une chance sur deux de mettre en évidence une différence de 5 % avec le même coefficient de variation de 10 % il faudrait environ 32 blocs. Pour une puissance de 80 % et 8 objets il faudra environ 100 blocs.

2. METHODES POUR AUGMENTER LA PRECISION DES RESULTATS

2.1. Augmentation du nombre de blocs

Pour diviser par deux les différences mises en évidence, il faut approximativement multiplier par 3 ou 4 le nombre de blocs par exemple en répétant l'essai sur points d'appui ou plusieurs années. Dans la pratique cet accroissement du nombre de blocs ne pourra souvent se faire que, dans des conditions de culture différentes (dates d'opérations culturales) et aux dépens d'autres expériences mais aussi sur des terrains moins bien choisis et plus hétérogènes.

2.2. Augmentation de l'efficacité des blocs

Des blocs plus petits assurent souvent un meilleur contrôle de l'hétérogénéité du terrain et une diminution de la variance résiduelle. Ceci ne pouvant se faire par réduction de la dimension des parcelles, ce qui augmenterait les interférences entre ces parcelles, il faudra pour garder un essai en blocs de Fisher limiter les buts de l'expérience et diminuer le nombre d'objets ou utiliser des dispositifs en blocs incomplets malgré les contraintes qu'ils imposent quant aux nombres de répétitions et de traitements.

L'analyse des résidus des essais peut permettre de déterminer pour chaque terrain l'orientation et les dimensions des blocs.

L'alternance de bandes de terrain supportant les essais phytosanitaires avec des bandes d'autres cultures ou des cultures de coton protégées de façon homogène permet de limiter les interférences entre parcelles à 2 au lieu de 4 côtés.

Cette alternance proscriit l'utilisation de dispositifs comme les carrés latins classiques. On veillera particulièrement à ménager des bordures protégées suffisantes aux extrémités des bandes.

2.3. Choix des témoins et amélioration de la définition du but de l'expérience

2.3.1 Optimisation du nombre de répétitions du témoin

Exemple : un essai est mis en place pour comparer à un témoin déjà recommandé ou vulgarisé Te, 4 formulations nouvelles. On dispose de 60 parcelles, le dispositif adopté est un essai bloc à 12 répétitions. Si V est la variance résiduelle obtenue, la variance de la différence entre 2 objets Vd est de :

$$V_d = (1/12 + 1/12) V \text{ soit } V/6.$$

En fait le but bien défini de cet essai est d'abord la comparaison de chaque formulation nouvelle au témoin pour sélectionner celles qui sont équivalentes ou meilleures que le témoin et rejeter celles qui sont inférieures, les comparaisons des formulations nouvelles entre elles étant relativement secondaires. Il est donc préférable de connaître la valeur du témoin qui intervient dans 4 comparaisons principales avec une meilleure précision que les valeurs des formulations nouvelles qui n'interviennent qu'une fois dans les comparaisons principales et 3 fois dans les comparaisons secondaires.

Si pour le même essai on répète le témoin 2 fois dans chaque bloc, on n'aura pour les 60 parcelles disponibles que 10 répétitions pour les 4 formulations nouvelles mais 20 pour le témoin. La variance de la comparaison principale sera :

$$V_{dp} = (1/10 + 1/20) V \text{ soit } 3V/20$$

ce qui correspond à une diminution de 10 % tandis que la variance des comparaisons secondaires sera elle de $V_{ds} = V/5$, augmentée de 20 %.

D'une façon générale, quand la comparaison à un témoin est le but principal d'un essai, la précision sera maximale pour cette comparaison quand le témoin sera répété un nombre de fois égal à la racine carrée du nombre des autres traitements.

Dans l'exemple précédent, si deux témoins vulgarisés jugés équivalents sont disponibles, on pourra effectuer les comparaisons des formulations nouvelles avec la moyenne de ces deux témoins.

2.3.2 Choix de témoins communs à plusieurs essais

Le choix d'un ou de plusieurs témoins communs à de nombreux essais permet de valoriser un essai même peu précis en reliant ses résultats à ceux d'autres essais. Si plusieurs essais sont comparables, il est possible de procéder à une analyse statistique globale dont on pourra éventuellement tirer des résultats statistiquement significatifs en ne retenant que les objets communs à tous les essais. Si une telle analyse n'est pas possible, le lien entre différents essais par l'intermédiaire de témoins communs permet d'accumuler un certain nombre de résultats peu clairs pour prendre une décision pratique, ce qui est finalement un des buts principaux de l'expérimentation.

Les essais ont pour but commun la recherche d'une amélioration des résultats précédemment obtenus et recommandés au cultivateur ou à la société de développement, que cette amélioration soit d'ordre pratique, biologique ou économique. Il est donc essentiel de choisir comme témoin "standard" la ou les recommandations existantes.

Certains essais nécessitent des témoins particuliers comme la protection poussée des essais à trois niveaux. L'existence de ces témoins ne doit pas exclure l'utilisation de témoin "standard".

3. AUTRES DISPOSITIFS

3.1. Essais en randomisation totale

Ce dispositif n'assure pas de contrôle d'hétérogénéité. Bien que peu utilisé, il est le dispositif le plus adapté lorsque le terrain est homogène, ou lorsque la forme de l'hétérogénéité ne se prête pas à un découpage en blocs.

Toutefois, quand le nombre de répétitions est suffisamment élevé (≥ 6), la perte de précision liée à l'adoption d'un dispositif en blocs est négligeable.

La randomisation reste un dispositif intéressant pour affecter un nombre de répétitions différent à un ou des objets particuliers (cas d'un témoin par exemple).

3.2. Essais couples

Un essai en blocs de Fisher avec seulement 2 traitements est un essai en couple, chaque bloc constituant un appariement des 2 objets. Le test F de Snedecor peut dans ce cas être remplacé par un test t de Student qui lui est dans ce cas strictement équivalent, la variable d'étant la différence entre les deux traitements dans chaque bloc.

$$A_1 B_1 \quad B_2 A_2 \quad A_3 B_3 \quad \dots \quad A_i B_i \quad d_i = A_i - B_i$$

L'intérêt de ces essais couples est de réduire les dimensions des blocs pour contrôler l'hétérogénéité du terrain.

Pour un meilleur contrôle du terrain, il est possible d'étendre cette méthode en étudiant la variable constituée par la différence entre un objet B et la moyenne des parcelles adjacentes de l'autre objet A. Dans le cas d'une disposition en bandes, les parcelles A et B sont alors alternées, chaque bande de terrain commençant et finissant par le même traitement :

A1 B1 A2 B2 A3 B3 A4 etc...

$$d_i = (A_i + A_{(i+1)})/2 - B_i$$

Il est possible d'étendre ce schéma à deux dimensions comme suit :

| | | | | | | |
|----|----|----|----|----|-----|----|
| | A1 | | A2 | | A3 | |
| A4 | B1 | A5 | B2 | A6 | B3 | A7 |
| | A8 | | A9 | | A10 | |

$$d_1 = (A_1 + A_4 + A_5 + A_8)/4 - B_1$$

$$d_2 = (A_2 + A_5 + A_6 + A_9)/4 - B_2 \text{ etc...}$$

Ces dispositions peuvent être utilisées pour réaliser des expérimentations sur des parcelles en milieu réel en disposant dans un champ une ou plusieurs bandes ou des carrés d'un traitement à comparer aux pratiques de l'agriculteur.

3.3. Carré latin

Les carrés latins permettent de contrôler des gradients dans deux directions par la constitution de blocs-lignes et blocs-colonnes perpendiculaires. Ils imposent une disposition sur le terrain peu souple et sont relativement peu utilisés.

Exemple : pour mettre en place un essai à 5 traitements, on dispose de 5 bandes de terrains orientées est-ouest dont les précédents culturaux ou les dates de semis sont différents et les infestations d'un ou plusieurs ravageurs (*Diparopsis*, *Sylepta* ou *Bemisia* par exemple) se font selon un gradient depuis la façade est et donc parallèlement aux bandes de terrain.

Un dispositif en carré latin permet de contrôler les deux types d'hétérogénéité : précédents culturaux par les lignes et infestations par les colonnes.

RANDOMISATION :

Devant conserver la structure de carré latin, elle est un peu plus complexe que celle des blocs de Fisher, cependant il existe une méthode simple et général :

- * quand il existe plusieurs plans (par exemple pour un carré latin 4 x 4), en choisir un au hasard ;
- * permuter aléatoirement les lignes ;
- * permuter aléatoirement les colonnes ;
- * pour les carrés latins 5 x 5 et au delà, permuter en plus les traitements.

3.4. Blocs incomplets équilibrés (cf. COCHRAN et COX)

Ils permettent avec un nombre d'objets élevé de conserver des blocs plus petits et donc plus homogènes que les blocs de Fisher. Toutefois tous les traitements n'étant pas présents dans tous les blocs, il n'y a pas d'orthogonalité entre les traitements et les blocs. Les moyennes des traitements doivent être ajustées en fonction des moyennes des blocs où ils sont présents. Outre le fait que les calculs de l'analyse de variance sont compliqués, cela conduit à une perte de puissance de l'essai. On n'utilise donc ces dispositifs que si cette perte de puissance est compensée par une meilleure homogénéité des blocs ou s'il est matériellement impossible de disposer des blocs complets.

Exemple : on souhaite mettre en place un essai à 6 traitements avec des parcelles de 8 lignes sur un terrain dont la largeur permet de semer 120 lignes.

Le terrain sera divisé en 2 bandes de 3 blocs de 40 lignes, chaque objet étant absent d'un bloc. Les blocs seront constitués des objets suivants :

(ABCDE) (BCDEF) (ACDEF) (ABDEF) (ABCEF) (ABCDF)

Les lattices équilibrés sont un cas particulier où les traitements se retrouvent une fois et une fois seulement dans les mêmes blocs incomplets, ces blocs comportent un nombre de traitements égal à la racine carrée du nombre total de traitements, ils sont regroupés en répétitions comportant tous les traitements. Le nombre de répétitions est supérieur d'une unité au nombre de traitements par bloc. On peut éventuellement doubler ou tripler le dispositif pour disposer d'un nombre supérieur de répétitions. Les lattices équilibrés à 16 traitements sont les plus utilisés car ils permettent de comparer un nombre élevé de traitements en conservant des blocs de petites dimensions et un nombre de répétitions acceptable. La perte de puissance est en général compensée par la constitution de blocs de 4 parcelles au lieu de 16.

Les lattices 3x3 à 9 traitements et seulement 4 répétitions sont utilisés avec semble-t-il une bonne efficacité malgré ce nombre réduit de répétitions.

Les lattices carrés équilibrés permettent à la façon des carrés latins de contrôler les hétérogénéités du terrain dans plusieurs directions par la constitution de blocs lignes et de blocs colonnes.

Les lattices carrés équilibrés 3x3 à 2 répétitions sont à proscrire, ceux à 4 répétitions à éviter. En effet, la mauvaise précision de l'estimation de la variance résiduelle (peu de degrés de liberté) fait qu'ils sont très peu puissants.

RANDOMISATION DES DISPOSITIFS INCOMPLETS

La procédure de randomisation est différente pour chacun des dispositifs. De même que pour les blocs complets, il est important de ne pas réaliser toujours le même plan.

* Blocs incomplets équilibrés

- a) permuter aléatoirement les blocs ;
- b) permuter aléatoirement les parcelles dans les blocs ;
- c) donner à chaque traitement un numéro au hasard.

* Lattices équilibrés

- a) permuter les répétitions ;
et permuter les blocs dans chaque répétitions ;
- b) idem Blocs incomplets équilibrés ;
- c) idem Blocs incomplets équilibrés.

* Lattice carrés équilibrés

- a) permuter les répétitions ;
et les colonnes de chaque répétitions ;
- b) permuter les lignes de chaque répétitions
- c) idem Blocs incomplets équilibrés.

REMARQUE : les dispositifs en carrés latins, blocs incomplets et lattices ne permettent un contrôle des gradients du terrain que dans certains cas particuliers.

3.5. SPLIT-PLOT ou parcelles divisées

Egalement appelés dispositifs en tiroir (cf Snedecor et Cochran, Méthodes Statistiques p 412).

Ce type de dispositif permet d'obtenir dans un essai factoriel une information précise sur un facteur et ses interactions avec un second facteur mais de connaître le second facteur avec moins de précision. Le premier facteur est disposé selon les petites parcelles et le second selon les grandes parcelles.

On choisit ce dispositif si on désire une meilleure précision sur un des facteurs ou lorsque la réalisation ou l'expression des effets d'un des facteurs nécessite des parcelles de grandes dimensions.

Exemple : Soit un essai de désinfection de semences 10 répétitions et 5 traitements d1 à d5, des parcelles élémentaires de 3 lignes sont suffisantes. On désire tester également l'intérêt d'un contrôle précoce des piqueurs suceurs par application foliaire mais cela ne peut se faire que sur des parcelles d'au moins 15 lignes pour limiter les interférences entre parcelles. On peut surimposer ces objets P0 et P1 sur l'essai de désinfection de semences, les blocs de cet essai constituent les grandes parcelles.

Les parcelles élémentaires 1 à 5, 6 à 10, 11 à 15, 16 à 20 etc.. constituent les grandes parcelles selon la répartition suivante :

| Bloc 1 | | Bloc 2 | |
|----------|------------|----------|--------------|
| Parcelle | Traitement | Parcelle | Traitement |
| 1 | d2 P0 | 11 | d4 P1 |
| 2 | d3 P0 | 12 | d1 P1 |
| 3 | d5 P0 | 13 | d2 P1 |
| 4 | d1 P0 | 14 | d5 P1 |
| 5 | d4 P0 | 15 | d3 P1 |
| 6 | d5 P1 | 16 | d5 P0 |
| 7 | d3 P1 | 17 | d2 P0 |
| 8 | d1 P1 | 18 | d3 P0 |
| 9 | d4 P1 | 19 | d1 P0 |
| 10 | d2 P1 | 20 | d4 P0 etc... |

Notons que dans ce split-plot les interactions entre traitements de semences et protection précoce n'ont pas d'intérêt. Le split-plot n'est ici utilisé que pour valoriser le terrain nécessaire à une expérimentation en surimposant un deuxième essai. Les interactions ne devraient pas être étudiées car il n'y a pas de bordure suffisante pour le facteur protection précoce entre les parcelles 5 et 6 ou 15 et 16. Dans la pratique il est souhaitable d'ajouter des parcelles 3', 7', 13', 17', etc pour réaliser sur ces parcelles les observations relatives à la protection foliaire.

Le même type d'essai peut être réalisé en expérimentation multilocale avec des fumures ou des variétés à la place des traitements de semences, particulièrement si les observations phytosanitaires sont réduites.

ANALYSES STATISTIQUES

(G. JOUVE)

Voir Gouet J.P. Les comparaisons de moyennes et de variances Bureau d'Etudes Statistiques de l'I.T.C.F.

1. HYPOTHESES TESTEES

Une expérimentation est mise en place pour tester une hypothèse : on vérifie si les données expérimentales sont compatibles avec l'hypothèse.

En général on teste l'hypothèse H_0 d'égalité des traitements, l'alternative H_1 étant le plus souvent l'hypothèse que les traitements sont différents.

2. SEUILS DE SIGNIFICATION

Le seuil de signification α (alpha) représente le risque de rejeter l'hypothèse H_0 alors qu'elle est vraie ou risque de première espèce. Ce risque est fixé par l'expérimentateur.

Le risque de deuxième espèce β (beta) est la probabilité que le test conduise à ne pas rejeter l'hypothèse d'égalité alors qu'elle est fausse.

Ces deux risques sont liés, ils dépendent également de la différence réelle mais inconnue entre les traitements, de la variance des échantillons et du nombre de répétitions.

En pratique on devrait se fixer ces deux risques en fonction des objectifs de l'expérience et fixer le nombre de répétitions en fonction de la variabilité du matériel (mesurée par le coefficient de variation) et des différences que l'on souhaite mettre en évidence.

En général on choisit un risque de première espèce de 5 % sans fixer le risque de deuxième espèce. Cela signifie qu'on prend le risque de déclarer une fois sur vingt différents des traitements qui ne le sont pas mais que l'on se soucie moins de la probabilité ne pas mettre en évidence des différences réelles.

3. CHOIX DES RISQUES

L'imprécision des essais phytosanitaires fait que les traitements sont souvent non significativement différents au seuil de 5 %.

Si le but de l'expérimentation est de conseiller un produit pour un usage donné, les différences entre les différents produits étant faibles, il importe peu d'en recommander un qui ne soit pas réellement supérieur, on pourra choisir un risque de première espèce supérieur à 5 %.

Par contre il est regrettable de ne pas distinguer un produit qui est réellement meilleur et il faudra chercher à minimiser le risque de seconde espèce.

Le problème est différent en amélioration variétale, où la difficulté de lancement d'une nouvelle variété (connaissance imparfaite de son comportement face à des maladies, risques de mélanges, réglages différents des égreneuses et placement sur le marché d'une fibre différente...), fait qu'il est alors accepté de ne pas sortir une variété faiblement supérieure (risque de seconde espèce élevé) mais essentiel de ne sortir que des variétés certainement supérieures (risque de première espèce faible).

Cette différence de stratégie se retrouve dans l'utilisation de tests de comparaisons de moyenne différents, les généticiens utilisent le plus souvent le test de Newman et Keuls alors que dans le domaine phytosanitaire on utilise le test de Duncan qui, pour un même risque nominal de première espèce donne un risque de seconde espèce plus faible, en prenant toutefois un risque réel de première espèce un peu plus élevé.

4. VALEURS DES COEFFICIENTS DE VARIATION

Il est habituel de considérer que les conclusions tirées d'essais dont les coefficients de variation sont élevés ont peu de valeur. En fait des coefficients élevés sont liés à un risque de deuxième espèce élevé, le risque de première espèce étant parfaitement maîtrisé.

Avec un coefficient de variation élevé, si des différences sont significatives, il n'y a pas lieu de remettre ce résultat en cause, toutefois la précision sur les différences réelles sera faible et seules les différences importantes seront mises en évidence.

Par contre, toujours avec un coefficient de variation élevé, le risque de deuxième espèce de ne pas sortir un traitement réellement supérieur à un autre est élevé, il importe donc de conclure, non pas que les traitements sont équivalents, mais qu'il n'a pas été possible de mettre de différences en évidence, on peut tout au plus dire que les différences, si elles existent sont inférieures à une valeur donnée.

Toutefois, un CV élevé est souvent le signe que les conditions d'application de l'analyse de variance ne sont pas respectées, il importera donc de les vérifier ou de remettre en cause les méthodes d'obtention des résultats.

Lorsqu'une transformation de variable a été utilisée, le coefficient de variation ne doit plus être retenu comme critère d'appréciation de l'homogénéité de l'essai.

5. VERIFICATION DES CONDITIONS D'APPLICATION DE L'ANALYSE DE LA VARIANCE

L'analyse de la variance utilisée pour estimer des moyennes avec leurs intervalles de confiance ou pour comparer des moyennes, suppose la normalité de la population des erreurs et l'homogénéité de leur variance.

L'estimation de la variance résiduelle par décomposition d'une Somme de Carrés d'Ecart totale en SCE blocs et SCE traitements pour comparer les variances est basée sur l'hypothèse d'additivité des effets des blocs et des traitements.

5.1. Normalité

La normalité des populations (les populations étant représentées par les parcelles élémentaires et non par l'ensemble des parcelles recevant un traitement) n'est en général pas vérifiable car le nombre d'échantillons (les observations) est le plus souvent réduit, l'échantillon étant généralement unique. Dagnelie conseille de se baser sur la connaissance à priori de la nature des variables.

Une analyse de la variance avec des variables non normales mais dont la distribution est en forme de cloche assez symétrique, cas (2) et (3) du tableau ci-dessous, conduit pour le test d'égalité des variances et pour un risque de première espèce théorique de 5 %, à un risque réel compris entre 4 et 7 % et pour 1 % entre 0,5 à 2 %.

L'analyse de variance globale est assez robuste par rapport à la non normalité des erreurs.

En elle-même, la non-normalité fausse les tests de comparaison de moyenne (Duncan) dans des limites pratiquement négligeables tant que les distributions ne sont pas trop dissymétriques. Par contre les tests de comparaison de variances (Bartlett, voir paragraphe suivant) sont très sensibles à cette non-normalité.

Les distributions non normales ont souvent des variances liées aux moyennes et la signification des tests sera alors mésestimée si les effets des traitements ne sont pas faibles. Il est souhaitable de ne pas analyser globalement des objets dont les résultats sont très différents, le résultat pratique en est d'ailleurs déjà connu. On exclura par exemple un témoin non traité ou, dans un essai où certains objets comportent un aphicide et d'autres non, on analysera séparément dans deux groupes les comptages de pucerons, évitant ainsi de baser des comparaisons sans intérêt sur des estimations peu précises.

L'analyse des résidus (voir ci-dessous) permet une certaine vérification de la normalité des populations.

5.2. Egalité des variances

L'analyse de la variance conduit à baser les comparaisons de moyennes sur une estimation d'une variance commune. Lorsque les variances ne sont pas homogènes, bien que le test F soit relativement "robuste" tant que les effectifs des échantillons sont égaux, ce qui est le cas dans les essais phytosanitaires où généralement il n'y a qu'une observation par parcelle, le risque de première espèce (rejeter l'hypothèse d'égalité des moyennes alors qu'elle est vraie) peut être augmenté, particulièrement si les distributions ne sont pas symétriques.

Le faible nombre d'observations par parcelle, généralement limité à l'unité ne permet pas de calculer la variance des données des parcelles. L'homogénéité des variances des objets et celles des blocs peuvent être testées sur les résidus par le test de Bartlett ou plus facilement, les effectifs des échantillons étant égaux par le test un peu moins puissant de Hartley (cf Dagnelie Théorie et Méthodes Statistiques 11.4.2. et 11.4.3. volume 2, 53-60). Le test de Bartlett est une méthode approximative qui n'est satisfaisante que pour un nombre de blocs supérieur à 4 et un nombre d'objets pas trop élevé par rapport au nombre de blocs. Ces deux tests sont très sensibles à la non normalité des variables.

Le tableau suivant extrait du cours de DESJARDIN présente les risques encourus selon les différents cas.

Robustesse du test F.

| DISTRIB | NORMALES | | NON NORMALES | | | |
|---|----------|---------|--------------|-------|-------------|-------|
| | | | IDENTIQUES | | DIFFERENTES | |
| VARIANCES | EGALES | DIFFER. | EGALES | DIFF. | EGALES | DIFF. |
| nb de rép. de chaque trait. égaux | + | + | + | +- | - | - |
| | | (1) | | (2) | | |
| nb de rép. de chaque trait. diff. | + | - | +- | - | - | - |
| | | | (3) | | | |

(1) approximation de WELCH non nécessaire

(2) + si distributions symétriques

(3) + si distributions symétriques et non aplaties

5.3. Additivité du modèle

L'additivité des effets des blocs et des traitements, c'est à dire en l'absence d'interaction, peut être vérifiée par le test de Tukey (cf Dagnelie, Théorie et Méthodes Statistiques 15.2.5) dans les essais en blocs de Fisher et carré latin et uniquement pour certaines formes d'interactions.

Dans les essais phytosanitaires conduits en blocs de Fisher, il n'y a en général qu'une observation par parcelle et il n'est pas possible de séparer la SCE de l'erreur de la SCE de l'interaction Blocs x Traitement par décomposition de la SCE totale. Les tests F se font donc par rapport au Carré Moyen de l'interaction dont l'espérance est égale à la somme des variances de l'interaction et de l'erreur expérimentale. Le risque de deuxième espèce (accepter l'hypothèse d'égalité des moyennes alors qu'elle est fausse) est alors augmenté. Cette perte d'information est sensible quand les différences entre traitements sont supérieures à 20 %.

Si l'hypothèse d'absence d'interaction est rejetée, l'effet des traitements varie selon les blocs et les estimations des limites de confiance des variances et moyennes sont faussées (risques mésestimés). Un cas fréquent est celui où les effets des objets sont proportionnels à ceux des blocs. Dans ce cas le modèle n'est pas additif mais multiplicatif. Un modèle multiplicatif est facilement transformé en modèle additif par la transformation logarithmique.

5.4. Etude des résidus

Référence : cours de statistique appliquée de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Etat Gembloux. J.J. Claustriau

L'étude des résidus a pour but la vérification de l'égalité des variances et de la normalité des données.

Si l'hypothèse d'additivité est plausible (n'est pas rejetée), on pourra dans un essai en blocs de Fisher calculer les "résidus" comme suit :

soit X_{ij} = donnée de la parcelle du bloc j recevant le traitement i ,

m = moyenne de l'essai,

a_i = l'effet du traitement i , calculé par la formule :

a_i = moyenne du traitement i - moyenne de l'essai,

b_j = effet du bloc j , calculé par la formule :

b_j = moyenne du bloc j - moyenne de l'essai,

$$R_{ij} = X_{ij} - m - a_i - b_j$$

Claustriau conseille de vérifier la normalité des populations par un examen visuel d'un histogramme des résidus, éventuellement complété par le calcul de paramètres statistiques tels que la moyenne, l'écart-type, les coefficients de Pearson d'aplatissement et de symétrie.

Un aplatissement important de la courbe de distribution tend à faire rejeter trop souvent l'hypothèse nulle, sa dissymétrie fausse les limites de confiance des moyennes.

Cet examen des résidus permet de détecter les résultats aberrants.

La cartographie des résidus permet de justifier l'élimination de blocs trop hétérogènes.

Un autre contrôle visuel peut être donné par la courbe des fréquences cumulées sur papier probit (Dagnelie T.M.S. 12.3.).

A partir des moyennes et variances estimées on peut comparer la distribution des résidus et la distribution théorique normale par un test de CHI carré (T.M.S. 12.2.). Les classes théoriques doivent être définies de sorte que la fréquence soit d'au moins 5 individus dans chaque classe, avec une tolérance d'une classe avec au moins 1 valeur attendue à chaque extrémité de la courbe. Le test de Kolmogorov et Smirnov est le mieux adapté pour des effectifs réduits.

L'égalité des variances se vérifie sur les résidus par le test de Hartley ou de Bartlett d'une part pour les traitements et d'autre part pour les blocs. Un traitement aux effets très erratiques ou un bloc très hétérogène pourra éventuellement être éliminé de l'analyse.

6. CHOIX DE TRANSFORMATIONS PERMETTANT L'ANALYSE DE LA VARIANCE

On pourra avoir recours aux transformations de variables lorsque certaines des conditions de normalité de ces variables, d'égalité de leurs variances ou d'additivité des effets ne sont pas suffisamment respectées.

Le respect de ces conditions est plus important pour l'analyse de la covariance, la relation entre les variables, éventuellement transformées devra de plus être linéaire.

Dans la pratique on recherchera une transformation qui égalise les variances soit en se basant sur des considérations théoriques soit de façon empirique.

Il y aura lieu de vérifier que la transformation utilisée conduit à une distribution normale des résidus et à l'additivité du modèle.

Notons que le choix de la transformation à appliquer ne doit pas être guidé par la diminution consécutive du CV.

6.1. Transformations théoriques

Quand la nature des observations à analyser permet de supposer que leur distribution suit une loi statistique dans laquelle la variance et la moyenne d'un échantillon sont liées, on peut leur appliquer directement une transformation qui rende moyennes et variances indépendantes. Ces transformations ont généralement la propriété de rendre les distributions approximativement normales. Parmi ces transformations les plus couramment utilisées sont les suivantes :

* Transformation angulaire

La transformation angulaire (ou arc sinus ou de Bliss)

$Y = \text{ARCSIN } \sqrt{X}$, est utilisée pour les variables du type binomial, X étant la proportion observée. L'espérance de la variance résiduelle de la variable Y exprimée en degré est de $821/n$.

On remplacera avant transformation les valeurs 0 et 1 respectivement par $1/4n$ et $1-1/4n$, si l'effectif échantillonné n est inférieur à 50.

Y peut être calculé en radians, degrés ou grades, cette dernière unité ayant, pour des valeurs moyennes, l'avantage esthétique de donner la valeur 50 pour 50 % et non 0,785 ou 45.

Après l'analyse de la variance avec cette transformation en degrés, la comparaison de la variance résiduelle avec $821/n$ indiquera si la variable était bien proche du type binomial.

* Transformation racine carrée

Cette transformation est utilisée pour les variables de Poisson où la variance est proportionnelle à la moyenne. On l'utilise pour les dénombrements quand la distribution n'est pas agrégative. Quand les chiffres obtenus sont relativement faibles on utilise la transformation $\sqrt{X+1/2}$ ou $\sqrt{X+3/8}$ (Dagnelie T.M.S. 22.2.2.) ou $\sqrt{X+1}$ (Snedecor et Cochran Méthodes Statistiques 11.15).

* Transformation logarithmique

Cette transformation $Y = \log(X)$, utilisée pour des distributions log-normales a la propriété de transformer les modèles multiplicatifs en modèles additifs. On utilisera $Y = \log(X+1)$ quand certaines valeurs sont nulles. La transformation logarithmique est utilisée pour les données très variables d'une classe à l'autre comme les analyses multilocales dont les rendements varient largement mais avec des coefficients de variation peu différents.

Elle est appliquée dès le relevé des données dans les comptages par grades. La cotation suivante est en effet équivalente à la transformation $\log(\text{nb d'individus} + 1)$:

| | | |
|---------|---|------------------|
| grade 0 | : | pas d'insecte |
| " 1 | : | 1 à 3 insectes |
| " 2 | : | 4 à 10 " |
| " 3 | : | 11 à 30 " etc... |

6.2. Transformations empiriques

Quand des considérations théoriques ne permettent pas de justifier une transformation ou que celle-ci ne donne pas le résultat voulu, on pourra établir un diagramme de dispersion des moyennes et des variances avec en abscisses les logarithmes des moyennes et en ordonnées les logarithmes des variances.

Si le nuage de point est orienté parallèlement à la bissectrice (sa pente est de 1), la relation entre les moyennes et les variances est du type $\log(\text{variance}) = \log(\text{moyenne}) + k$ soit, $\text{variance} = k'(\text{moyenne})$ et la transformation à utiliser sera la transformation racine carrée.

Si la pente est de 2 on aura $\log(\text{variance}) = 2 \log(\text{moyenne}) + k$ soit, $\text{variance} = k'(\text{moyenne})^2$, on utilisera alors la transformation logarithmique.

D'une façon générale, si la pente est de b , on utilisera la transformation $Y = X^{\text{puissance}(1 - b/2)}$ avec la convention $Y = \log X$ pour $b=2$.

Pour les comptages d'insectes "b" est appelé taux d'agrégation.

REMARQUE : s'il y a des données manquantes, leur estimation devra être faite par les méthodes habituelles après transformation.

Après analyse des données transformées, la transformation inverse sera appliquée aux moyennes des objets. Les valeurs obtenues sont celles qui seront utilisées dans les tableaux de résultats.

